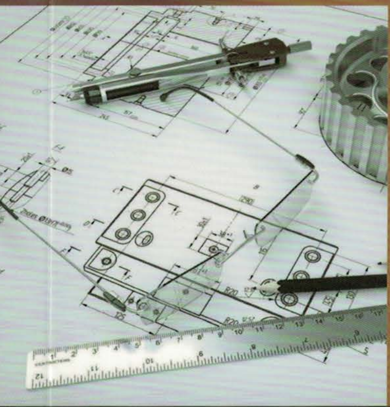
"十三五"国家重点出版物出版规划项目

现代机械工程系列精品教材



Fundamental of Engineering Drawing

工程制图基础

王迎　栾英艳 ◎ 主编

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

Fundamental of Engineering Drawing

"十三五"国家重点出版物出版规划项目
现代机械工程系列精品教材

工程制图基础

主编　王　迎　栾英艳
参编　王熙宁　宫　娜　姜文锐
曲焱炎　李利群　崔馨丹
主审　罗云霞

机械工业出版社

本书是根据当代工程图学的教学特点和发展趋势，结合了哈尔滨工业大学多年的工程制图课程教学实践经验，在其历次编写的非机械类工程制图教材的基础上编写而成的。本书主要内容包括：制图的基本知识，点、直线和平面的投影，立体，轴测图，组合体，机件的表达方法，标准件及常用件，零件图和装配图。

由王迎、栾英艳主编的《工程制图基础习题集》与本书配套使用，并同时出版。

为满足其他高校的使用要求，本书还配有多媒体教学课件和习题答案课件。选用本书作为教材的老师可以到机械工业出版社教育服务网（www.cmpedu.com）下载。

本书可作为工科高等院校非机械类专业的基础教材，也可以供函授等有制图专业需求的人员学习。

图书在版编目（CIP）数据

工程制图基础/王迎，栾英艳主编. —北京：机械工业出版社，2017.8
“十三五”国家重点出版物出版规划项目 现代机械工程系列精品教材
ISBN 978-7-111-56978-7

Ⅰ.①工… Ⅱ.①王…②栾… Ⅲ.①工程制图-高等学校-教材
Ⅳ.①TB23

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2017）第 184369 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）
策划编辑：舒 恬 责任编辑：舒 恬 朱琳琳
责任校对：潘 蕊 封面设计：张 静
责任印制：李 昂
北京宝昌彩色印刷有限公司印刷
2017 年 8 月第 1 版第 1 次印刷
184mm×260mm · 13.5 印张 · 324 千字
标准书号：ISBN 978-7-111-56978-7
定价：34.50 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务
服务咨询热线：010-88379833
读者购书热线：010-88379649

网络服务
机 工 官 网：www.cmpbook.com
机 工 官 博：weibo.com/cmp1952
教育服务网：www.cmpedu.com
金 书 网：www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

前言

PREFACE

工程图样被称为“工程界的语言”，是工程技术部门的一项重要技术文件，是表达和交流技术思相的重要工具。工程图学课程是各高校工科学生必修的一门专业技术基础课，它主要解决空间形体与平面图形之间的相互转化问题，培养学生的空间思维能力。根据学生所在专业的不同，图学课程基本分为机械类和非机械类。

本书主要面向非机械类学生编写，其主要目的是让学生能够读懂图样和绘制简单的工程图，因此本书具有以下几个特点：

1）删减了画法几何部分的换面法以及一些空间几何的相关内容。

2）教材内容简明扼要、概念清晰、层次分明。

3）教材语言通俗易懂，例题示范性强。

建议读者按照各章节的先后顺序，循序渐进地学习，同时在学习过程中还要注意学练结合，也可以通过亲自动手制作空间形体模型等方式加深对内容的理解和掌握。

本书分为9章，由王迎、栾英艳任主编。参与编写本书的有王迎（第3章和第6章）、栾英艳（第8章）、王熙宁（第1章和第4章）、宫娜（第2章）、姜文锐（第5章）、曲焱炎（第7章）、李利群（第9章）和崔馨丹（附录）。全书由王迎、栾英艳审校定稿。

哈尔滨工业大学罗云霞教授担任本书主审，她认真审阅了本书，并提出了宝贵意见和建议，在此表示感谢！

本书在编写的过程中还得到机械工业出版社舒恬编辑的热心指导以及哈尔滨工业大学图学部的大力支持和帮助，在此表示感谢！

由于编者水平有限，书中缺点和错误在所难免，敬请读者和同仁批评指正。

编　者

目录

CONTENTS

前言

第 1 章　制图的基本知识 …… 1

1.1　国家标准《技术制图》和《机械制图》的一般规定 …… 1

1.1.1　图纸幅面及格式（GB/T 14689—2008） …… 1

1.1.2　比例（GB/T 14690—1993） …… 3

1.1.3　字体（GB/T 14691—1993） …… 3

1.1.4　图线（GB/T 17450—1998、GB/T 4457.4—2002） …… 5

1.1.5　尺寸注法（GB/T 4458.4—2003、GB/T 16675.2—2012） …… 7

1.2　尺规制图工具及其使用 …… 10

1.2.1　图板和丁字尺 …… 10

1.2.2　三角板 …… 10

1.2.3　绘图仪器 …… 11

1.2.4　曲线板 …… 11

1.2.5　铅笔 …… 12

1.3　几何作图 …… 13

1.3.1　等分圆周及作圆内接正多边形 …… 13

1.3.2　斜度和锥度 …… 14

1.3.3　非圆平面曲线 …… 15

1.3.4　圆弧连接 …… 17

1.4　平面图形的画法及尺寸标注 …… 18

1.4.1　平面图形的尺寸分析 …… 18

1.4.2　平面图形的线段分析 …… 19

1.4.3　平面图形的画图步骤 …… 19

1.4.4　平面图形的尺寸标注 …… 20

1.5　徒手绘图的技巧 …… 21

1.5.1　直线的画法 …… 22

1.5.2　画圆 …… 22

第 2 章　点、直线和平面的投影 …… 23

2.1　投影法的基本知识 …… 23

2.1.1　投影法的概念 …… 23

2.1.2 投影法的种类 …… 23
2.1.3 正投影法的基本性质 …… 24
2.2 机械工程中常用的两种投影图 …… 25
2.2.1 多面正投影图 …… 25
2.2.2 轴测投影图 …… 25
2.3 点的投影 …… 26
2.3.1 点在三投影面体系中的投影及其投影规律 …… 26
2.3.2 点的投影和直角坐标的关系 …… 27
2.3.3 两点的相对位置及重影点 …… 28
2.4 直线的投影 …… 29
2.4.1 直线的投影特性 …… 29
2.4.2 各种位置的直线及其投影特性 …… 30
2.4.3 点、直线从属关系 …… 33
2.4.4 两直线的相对位置及其投影特性 …… 34
2.5 平面的投影 …… 36
2.5.1 平面的投影表示法 …… 36
2.5.2 各种位置的平面及其投影特性 …… 37
2.5.3 用迹线表示特殊位置平面 …… 40
2.5.4 属于平面的点、直线和圆 …… 41
2.6 直线与平面的相对位置 …… 44
2.6.1 平行 …… 44
2.6.2 相交 …… 46

第3章 立体 …… 48
3.1 平面立体的投影 …… 48
3.1.1 棱柱的投影及其表面上取点 …… 48
3.1.2 棱锥的投影及其表面上取点 …… 49
3.2 平面与平面立体相交 …… 51
3.3 曲面立体的投影及其表面的点 …… 53
3.3.1 圆柱的投影及其表面上取点 …… 53
3.3.2 圆锥的投影及其表面上取点 …… 55
3.3.3 圆球的投影及其表面上取点 …… 57
3.4 平面与曲面立体相交 …… 59
3.4.1 平面截切圆柱 …… 59
3.4.2 平面截切圆锥 …… 61
3.4.3 平面截切圆球 …… 64
3.4.4 平面截切回转体 …… 65
3.5 两曲面立体相交 …… 66
3.5.1 利用积聚性法求相贯线 …… 67
3.5.2 辅助平面法求相贯线 …… 69
3.5.3 相贯线形状、趋向及其特殊情况 …… 70

第 4 章　轴测图 …… 74
4.1　基本知识 …… 74
4.1.1　轴测图的形成 …… 74
4.1.2　轴测投影的性质 …… 75
4.1.3　轴测投影的分类 …… 75
4.2　正等测轴测图的画法 …… 76
4.2.1　轴间角和轴向伸缩系数 …… 76
4.2.2　平面立体正等测轴测图的画法 …… 76
4.2.3　曲面体的正等测画法 …… 78
4.2.4　组合体的正等测画法 …… 82
4.3　斜二测轴测图的画法 …… 83
4.3.1　轴间角和轴向伸缩系数 …… 83
4.3.2　组合体的斜二测画法 …… 83

第 5 章　组合体 …… 85
5.1　组合体的基本知识 …… 85
5.1.1　组合体的组合方式 …… 85
5.1.2　组合体相邻表面间的连接关系 …… 86
5.1.3　组合体的三视图 …… 87
5.2　组合体三视图的画法 …… 88
5.3　组合体的尺寸注法 …… 91
5.3.1　基本形体的尺寸注法 …… 92
5.3.2　基本形体被截切和相交的尺寸注法 …… 92
5.3.3　组合体的尺寸注法 …… 92
5.3.4　标注尺寸时应注意的问题 …… 96
5.4　读组合体视图 …… 97
5.4.1　形体分析法读图 …… 97
5.4.2　线面分析法读图 …… 98
5.4.3　综合法读图 …… 100

第 6 章　机件的表达方法 …… 103
6.1　视图 …… 103
6.1.1　基本视图 …… 103
6.1.2　向视图 …… 103
6.1.3　局部视图 …… 105
6.1.4　斜视图 …… 105
6.2　剖视图 …… 106
6.2.1　剖视图的概念 …… 106
6.2.2　剖视图的标注 …… 107
6.2.3　画剖视图应注意的事项 …… 108
6.2.4　剖切面的种类 …… 109
6.2.5　剖视图的种类 …… 112

6.3　断面图…………………………………………………………………………………… 116
6.3.1　断面图的概念………………………………………………………………………… 116
6.3.2　断面的种类、画法及标注…………………………………………………………… 117
6.4　局部放大和简化画法…………………………………………………………………… 119
6.4.1　局部放大图…………………………………………………………………………… 119
6.4.2　简化画法……………………………………………………………………………… 119
6.5　表达方法应用举例……………………………………………………………………… 122
6.6　第三角投影简介………………………………………………………………………… 123

第7章　标准件及常用件 …………………………………………………………… 126
7.1　螺纹及其规定画法与标注……………………………………………………………… 126
7.1.1　螺纹的基本知识……………………………………………………………………… 126
7.1.2　螺纹的规定画法……………………………………………………………………… 128
7.1.3　螺纹的标注…………………………………………………………………………… 130
7.2　螺纹紧固件及其标记与画法…………………………………………………………… 132
7.2.1　螺纹紧固件的标记及画法…………………………………………………………… 132
7.2.2　螺纹紧固件装配的画法……………………………………………………………… 133
7.3　键、销和滚动轴承……………………………………………………………………… 137
7.3.1　键……………………………………………………………………………………… 137
7.3.2　销……………………………………………………………………………………… 138
7.3.3　滚动轴承……………………………………………………………………………… 139
7.4　齿轮……………………………………………………………………………………… 140
7.4.1　齿轮的基本知识……………………………………………………………………… 140
7.4.2　直齿圆柱齿轮的基本参数及尺寸…………………………………………………… 140
7.4.3　直齿圆柱齿轮的画法………………………………………………………………… 142
7.5　弹簧……………………………………………………………………………………… 144
7.5.1　弹簧的种类和作用…………………………………………………………………… 144
7.5.2　圆柱螺旋压缩弹簧各部分的名称和尺寸计算……………………………………… 144
7.5.3　圆柱螺旋压缩弹簧的规定画法……………………………………………………… 145
7.5.4　圆柱螺旋压缩弹簧的画图步骤……………………………………………………… 145

第8章　零件图 ……………………………………………………………………… 147
8.1　概述……………………………………………………………………………………… 147
8.2　零件的表达方法………………………………………………………………………… 148
8.2.1　主视图的选择………………………………………………………………………… 148
8.2.2　其他视图的选择……………………………………………………………………… 149
8.2.3　典型零件的视图选择………………………………………………………………… 149
8.3　零件图上的尺寸标注…………………………………………………………………… 151
8.3.1　选择尺寸基准………………………………………………………………………… 151
8.3.2　尺寸标注方法………………………………………………………………………… 152
8.4　零件图中的技术要求…………………………………………………………………… 154
8.4.1　零件的表面结构……………………………………………………………………… 154
8.4.2　表面粗糙度的常用评定参数、代号及标注方法…………………………………… 155

8.4.3　极限与配合 …… 160
8.4.4　材料及热处理 …… 166
8.5　零件常见工艺结构 …… 167
8.5.1　铸造零件上常见的工艺结构 …… 167
8.5.2　切削加工零件上常见的工艺结构 …… 167
8.6　读零件图 …… 169
8.6.1　读零件图的步骤和方法 …… 169
8.6.2　零件图读图举例 …… 169

第 9 章　装配图 …… 172
9.1　装配图的作用和内容 …… 172
9.1.1　装配图的作用 …… 172
9.1.2　装配图的内容 …… 172
9.2　部件的表达方法 …… 174
9.2.1　装配图的规定画法 …… 174
9.2.2　装配图的特殊表达方法 …… 174
9.2.3　简化画法 …… 178
9.3　装配图中的尺寸标注及技术要求 …… 178
9.3.1　装配图中的尺寸标注 …… 178
9.3.2　装配图中的技术要求 …… 179
9.4　装配图中的零件序号、明细栏和标题栏 …… 179
9.4.1　零件序号 …… 179
9.4.2　明细栏和标题栏 …… 180
9.5　装配工艺结构 …… 180
9.5.1　接触面的合理配置 …… 181
9.5.2　便于零件装、拆的合理结构 …… 181
9.6　部件测绘和装配图画法 …… 182
9.6.1　部件测绘 …… 182
9.6.2　装配图的画法 …… 183
9.7　读装配图和拆画零件图 …… 186
9.7.1　读装配图 …… 186
9.7.2　拆画零件图 …… 188
附录 …… 190
附录 A　螺纹 …… 190
附录 B　常用标准件 …… 192
附录 C　极限与配合 …… 201
参考文献 …… 208

第 1 章

制图的基本知识

本章主要介绍国家标准《技术制图》和《机械制图》的一些基本规定及有关制图技能的基本知识。

1.1　国家标准《技术制图》和《机械制图》的一般规定

1.1.1　图纸幅面及格式（GB/T 14689—2008）

1. 图纸幅面

图纸幅面指的是图纸宽度与长度组成的图面。绘制图样时，优先采用表 1-1 规定的幅面尺寸，必要时也允许选用规定的加长幅面。这些幅面的尺寸是由基本幅面的短边成整数倍增加后得出的，如图 1-1 所示。

图 1-1 中粗实线为基本幅面（第一选择），细实线和虚线则为加长幅面（第二选择、第三选择）。

2. 图框格式

图纸上限定绘图区域的线框称为图框，图框线用粗实线绘制。其格式分为留有装订边和不留装订边两种。留有装订边的图纸，其图框的格式如图 1-2a 所示；不留装订边的图纸，其图框格式如图 1-2b 所示，图框尺寸见表 1-1。同一产品的图样只能采用一种格式。一般采用 A4 幅面竖装或 A3 幅面横装。

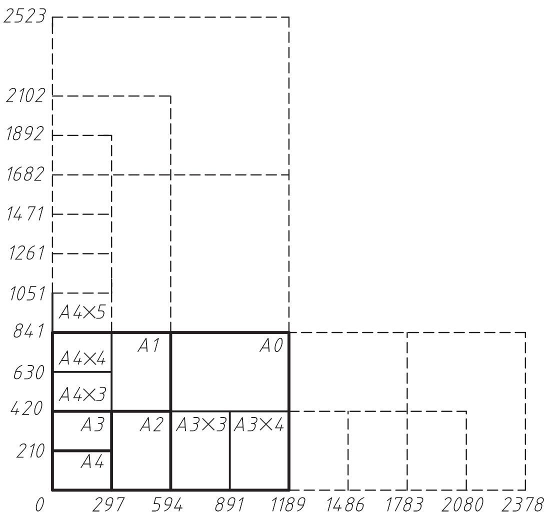
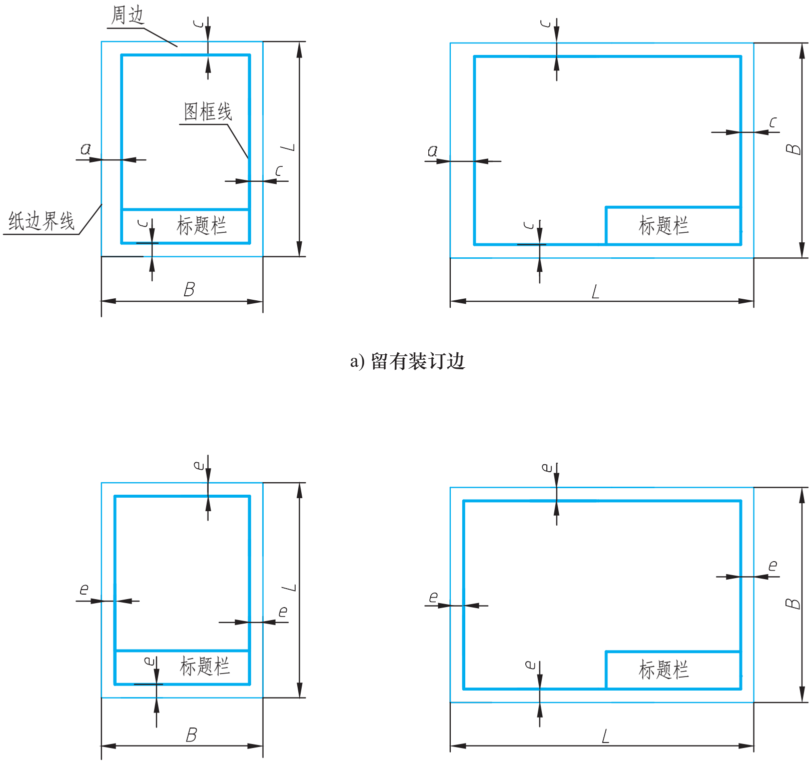


图 1-1　图纸幅面

表 1-1　图纸幅面及图框格式尺寸　（单位：mm）

幅面代号	A0	A1	A2	A3	A4
$B \times L$	841×1189	594×841	420×594	297×420	210×297
a	25				
c	10			5	
e	20		10		



a) 留有装订边

b) 不留装订边

图 1-2　图框格式

为了使图样复制和微缩摄影时定位方便，可采用对中符号。对中符号是从周边划入图框内约 5mm 的一段粗实线，如图 1-3 所示。

3. 标题栏的方位与格式

每张图纸上都必须画出标题栏。标题栏是由名称及代号区、签字区、更改区和其他区组成的栏目，是图样不可缺少的内容。标题栏的位置一般应在图样的右下角。

GB/T 10609. 1—2008 对标题栏的内容、格式与尺寸做了详细的规定，但在学生制图作业中，标题栏的格式建议采用图 1-4 所示的简化形式。标题栏的外框线为粗实线，其右边和底边与图框线重合。内部分栏按图 1-4 所示绘制。填写的字体，除图名、校名用 10 号字外，其余用 5 号字。

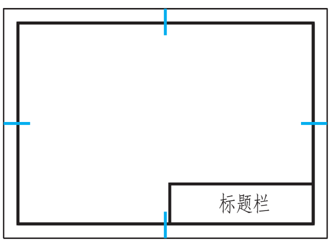


图 1-3　对中符号

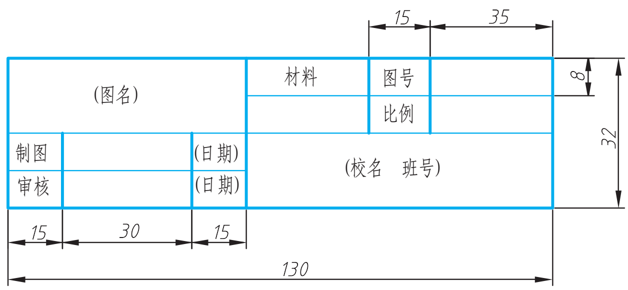


图 1-4　学生用标题栏格式

1.1.2 比例（GB/T 14690—1993）

图中图形与其实物相应要素的线性尺寸之比称为比例。绘制图样时应采用表 1-2 中规定的比例。必要时，也可选取表 1-3 中的比例。每张图样，均应在标题栏的“比例”一栏中填写比例，如“1∶1”或“1∶2”等。

表 1-2　比例（一）

种　类	比　例		
原值比例	1∶1		
放大比例	5∶1	2∶1	
	5×10^n∶1	2×10^n∶1	1×10^n∶1
缩小比例	1∶2	1∶5	1∶10
	1∶2×10^n	1∶5×10^n	1∶1×10^n

注：n 为正整数。

比例分为原值比例、放大比例和缩小比例三种。原值比例：比值为 1 的比例，即 1∶1。放大比例：比值大于 1 的比例，如 2∶1 等。缩小比例：比值小于 1 的比例，如 1∶2 等。

表 1-3　比例（二）

种　类	比　例				
放大比例	4∶1		2.5∶1		
	4×10^n∶1		2.5×10^n∶1		
缩小比例	1∶1.5	1∶2.5	1∶3	1∶4	1∶6
	1∶1.5×10^n	1∶2.5×10^n	1∶3×10^n	1∶4×10^n	1∶6×10^n

注：n 为正整数。

绘制同一机件的各个视图时，应采用相同的比例。当某个视图需要采用不同的比例时，则必须另行标注，如图 1-5 所示。

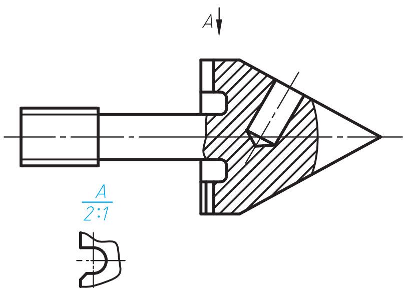


图 1-5　比例的标注

1.1.3 字体（GB/T 14691—1993）

字体指的是图中汉字、数字、字母的书写形式。国家标准规定了对字体的要求。书写时必须做到：字体工整、笔画清楚、间隔均匀、排列整齐。字体高度（用 h 表示）的公称尺寸系列为 1.8mm，2.5mm，3.5mm，5mm，7mm，10mm，14mm，20mm。如需要书写更大的字，其字体高度应按$\sqrt{2}$的比率递增，字体的高度代表字体的字号。汉字高度 h 不应小于 3.5mm，其字宽一般为 $h/\sqrt{2}$。

1. 汉字

图样上的汉字应写成长仿宋体，并采用国家正式公布推行的《汉字简化方案》规定的简化字。长仿宋体的书写要领是：横平竖直、注意起落、结构匀称、填满方格。

长仿宋字体的基本笔画及其写法，如图 1-6 所示。

2. 数字和字母

数字和字母都有斜体和直体两种，斜体字字头向右倾斜，与水平线均成 75°角。字母和

字体端正笔画清楚间隔均匀排列整齐

横平竖直注意起落结构均匀填满方格

盖架齿轮键弹簧机床减速器螺纹端子汽车施工摩擦片阀泵体座轴承

图 1-6　长仿宋字体示例

数字分为 A 型和 B 型。A 型字体的笔画宽度（d）为字高（h）的 1/14，B 型字体的笔画宽度为字高的 1/10。在同一张图样上只允许选用一种形式的字体。用作指数、分数、极限偏差、注脚等的数字及字母，一般采用小一号字体。各种字体示例如图 1-7 所示。



图 1-7　字体示例

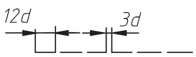
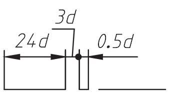
1.1.4 图线（GB/T 17450—1998、GB/T 4457.4—2002）

1. 图线的形式及应用

国家标准（GB/T 17450—1998）对图线做了如下定义：起点和终点间以任意方式连接的一种几何图形，图形可以是直线或曲线、连续或不连续线。

各种图线的名称、形式、宽度及在图上的一般应用见表 1-4。

表 1-4 图线及其应用

图线名称	图线型式	图线宽度	一般应用
粗实线		d	可见轮廓线 剖切符号用线 螺纹牙顶线 相贯线
细实线		$0.5d$	过渡线 尺寸线及尺寸界线 剖面线 重合断面的轮廓线 螺纹的牙底线及齿轮的齿根线 指引线和基准线 范围线及分界线 零件成形前的弯折线 辅助线 不连续同一表面连线 成规律分布的相同要素连线
波浪线		$0.5d$	断裂处的边界线 视图和剖视图的分界线
双折线		$0.5d$	断裂处的边界线 视图和剖视图的分界线
细虚线		$0.5d$	不可见轮廓线 不可见过渡线
细点画线		$0.5d$	轴线 对称中心线 分度圆及分度线
粗点画线		d	限定范围表示线
细双点画线		$0.5d$	相邻辅助零件的轮廓线 可动零件的极限位置的轮廓线 毛坯图中制成品的轮廓线 剖切面前的结构轮廓线 工艺用结构(成品上不存在)的轮廓线 中断线 轨迹线

机械工程图样上采用两类图线宽度，称为粗线和细线，其宽度的比例关系为 2∶1。粗线的宽度（d）应按图样的类型和尺寸大小在下列系数中选择：0.13mm，0.18mm，0.25mm，0.35mm，

0.5mm，0.7mm，1.0mm，1.4mm，2.0mm。机械图样的线型宽度 d 一般选用 0.7mm。

图线一般应用举例如图 1-8 所示。

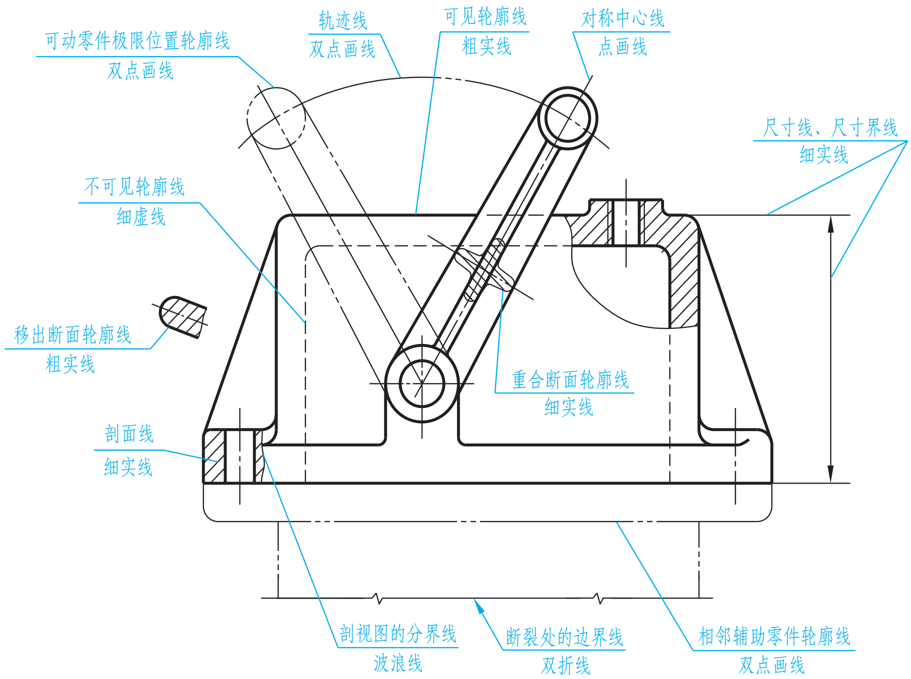


图 1-8　图线应用

2. 图线画法

1）同一图样中，同类图线的宽度应基本一致。虚线、点画线及双点画线的线段长短和间隔应各自大致相等。

2）除另有规定，两条平行线之间的最小距离不得小于 0.7mm。

3）用点画线绘制圆的对称中心线时，圆心应为线段的交点。点画线和双点画线的首末两端应是“画”，而不应是“点”，且要超出图形 2~5mm，如图 1-9a 所示。

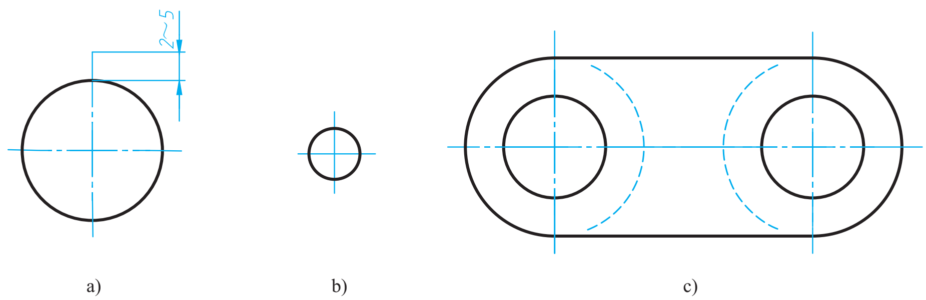


图 1-9　细点画线、细虚线的画法

4）在较小的图形上绘制细点画线或双点画线有困难时，可用细实线代替，如图 1-9b 所示。

5）虚线、点画线或双点画线和实线相交或它们自身相交时，应以“画”相交，而不应以“点”或“间隔”相交。

6）虚线、点画线或双点画线为实线的延长线时，不得与实线相连，应留出空隙，如图1-9c 所示。

7）图线不得与文字、数字或符号重叠，混淆。不可避免时，应首先保证文字、数字或符号的清晰。

1.1.5 尺寸注法（GB/T 4458.4—2003、GB/T 16675.2—2012）

图样中的视图只能表达物体的形状，物体各部分的大小则通过标注尺寸来表达。尺寸也可以配合图形来说明物体的形状。国家标准对尺寸注法有详细的规定，画图时必须遵守。

1. 基本规则

1）机件的真实大小应以图样上所注的尺寸数值为依据，与图形大小及绘图的准确度无关。

2）图样中（包括技术要求和其他说明）的尺寸以毫米为单位时，不需标注计量单位的代号或名称。如采用其他单位，则必须注明相应的计量单位的代号或名称。

3）图样中所标注的尺寸，为该图样所示机件的最后完工尺寸，否则应另加说明。

4）机件的每一尺寸，一般只标注一次，并应标注在反映该结构最清晰的图形上。

2. 尺寸的组成

一个完整的尺寸由尺寸界线、尺寸线、尺寸数字组成，如图 1-10 所示。

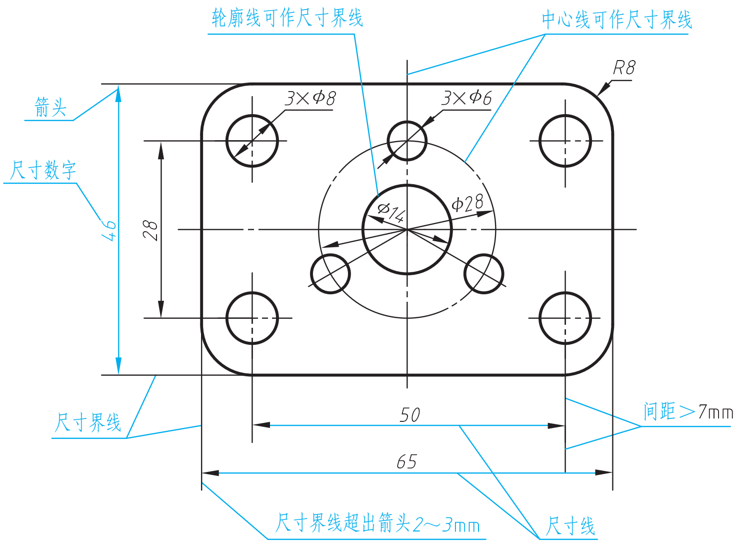
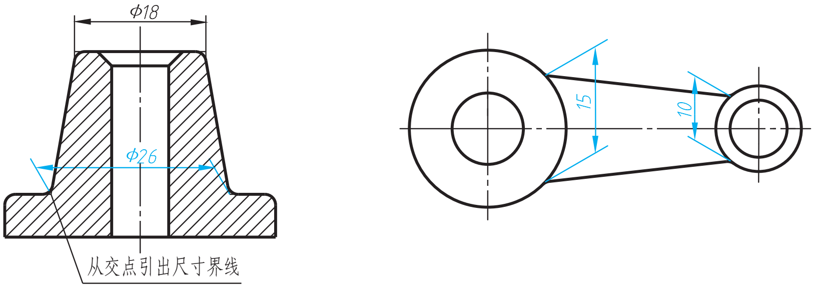


图 1-10 尺寸注法

（1）尺寸界线　尺寸界线用细实线绘制，并应由图形的轮廓线、轴线或对称中心线引出，也可用轮廓线、轴线或对称中心线代替。尺寸界线一般应与尺寸线垂直，并超出尺寸线箭头的末端 2~3mm，必要时才允许与尺寸线倾斜，如在光滑过渡处标注尺寸时，当尺寸界线不能清晰引出时，可用细实线将轮廓线延长，在交点处引出倾斜的尺寸界线，如图 1-11 所示。

（2）尺寸线　尺寸线用细实线绘制，其终端有两种形式：

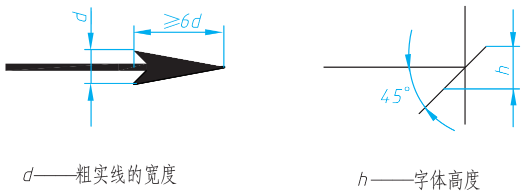
1）箭头。箭头放大后的形式如图 1-12a 所示。



a)　　　　b)

图 1-11　尺寸界线倾斜注法

2）斜线。斜线用细实线绘制，其形式如图 1-12b 所示。
标注线性尺寸时，尺寸线必须与所标注的线段平行。
尺寸线不能用其他图线代替，一般也不得与其他图线重合或画在其延长线上。
同一张图样中只能采用一种尺寸终端形式。
（3）尺寸数字　尺寸数字一般写在尺寸线的上方或中断处，如图 1-13 所示。



a)　　　　b)

图 1-12　尺寸终端形式

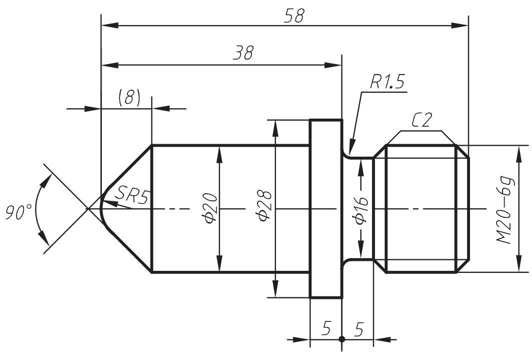


图 1-13　尺寸数字的注写位置

线性尺寸数字应按图 1-14 所示的方向注写，并尽可能避免在图示 30°范围内标注尺寸，当无法避免时可按图 1-15 的形式标注。尺寸数字不得被任何图线通过。必要时将该图线断开，如图 1-16 所示。

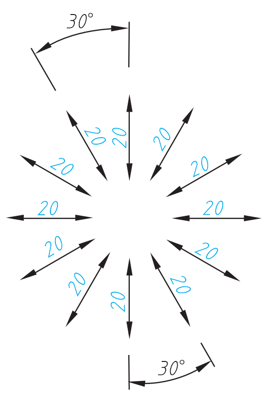


图 1-14　线性尺寸数字的注写方向

3. 几类常见的尺寸标注形式

（1）圆及圆弧尺寸注法　标注圆或大于半圆的圆弧时，尺寸线通过圆心，以圆周为尺寸界线，其尺寸线终端采用箭头形式，尺寸数字前加注直径符号“ϕ”；标注小于或等于半圆的圆弧时，尺寸线自圆心引向圆弧，其尺寸终端只画一个箭头，数字前加注半径符号“R”，如图 1-17 所示。当圆弧半径过大或在图纸范围内无法标出其圆心位置时，按图 1-18a 标注。若不需标出其圆心位置时，按图 1-18b 标注。

（2）小尺寸注法　在尺寸界线之间没有足够位置画箭头及注写数字时，可按图 1-19 形式标注。

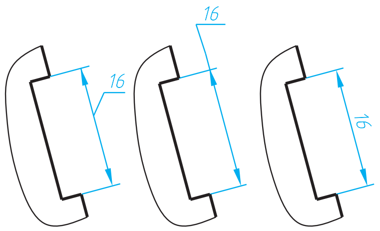


图 1-15　30°范围内尺寸注法

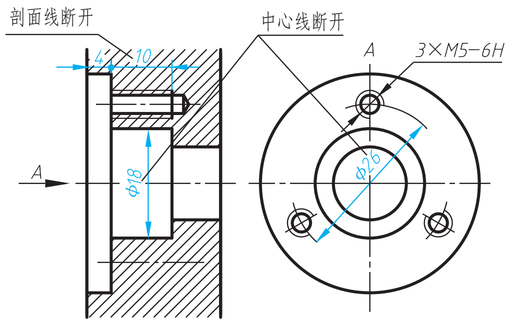


图 1-16　尺寸数字不得被任何图线通过

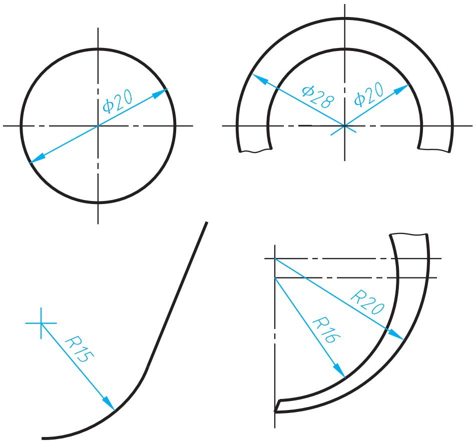
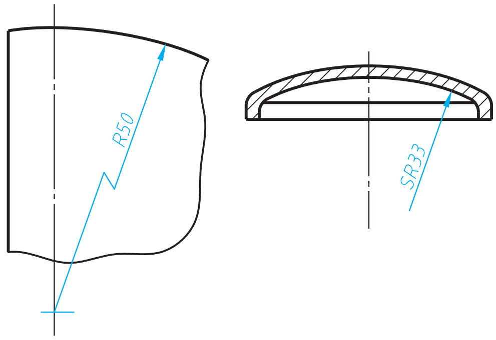


图 1-17　圆、圆弧尺寸注法



a)　　b)

图 1-18　大圆弧尺寸注法

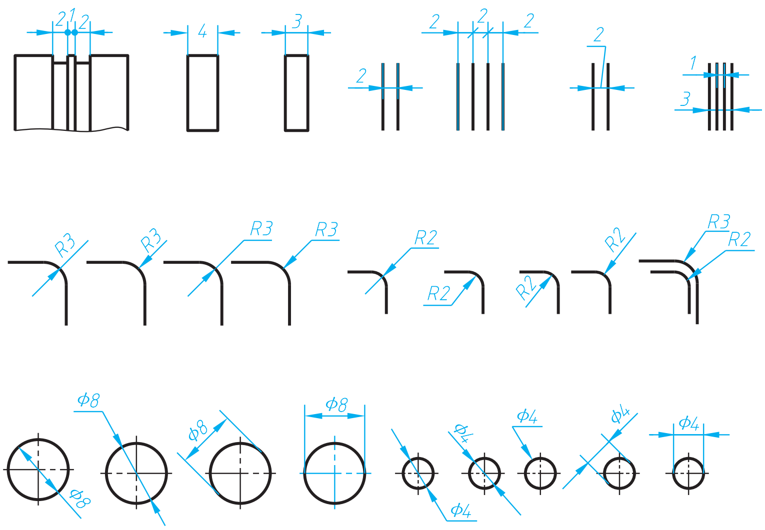


图 1-19　小尺寸注法

（3）球面尺寸注法　标注球面的直径或半径尺寸时，应在符号“ϕ”或“R”前再加注符号“S”，如图 1-20 所示。

（4）角度尺寸注法　角度数字一律按水平方向注在尺寸线中断处，必要时可写在尺寸

线的上方或外边，也可引出标注，如图 1-21 所示。

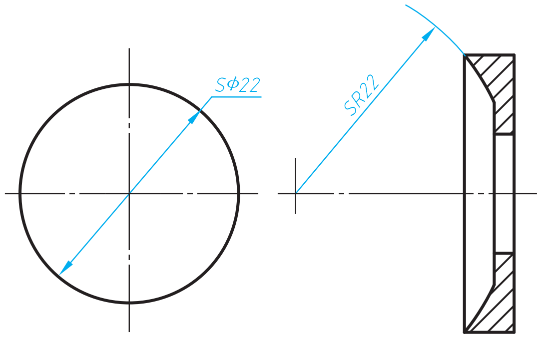


图 1-20　球面尺寸注法

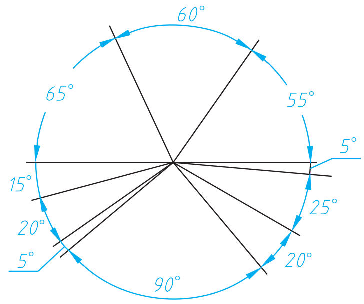


图 1-21　角度尺寸注法

4. 不需要标注的尺寸

1）图示尺寸。由图形所表明的一些按理想状态绘制的几何关系，如表面的相互垂直和平行、轮廓的相切，几个圆柱的共轴线以及形状和位置的对称，相同要素的均匀分布等，若无特殊要求，均按图示几何关系处理，不必标注。如图 1-22 所示的半圆头板中，底边与两侧边的垂直，两侧边的平行，$\phi15$ 孔与 $R15$ 圆弧的同心，两个 $\phi6$ 小孔关于中轴线的对称都不必标注或说明。由于下部方形的两侧边与上部圆弧相切，下板宽度自然应为 30mm，也不必标注。

2）自明尺寸。如图 1-22 所示机件用 $t0.8$ 标注方式表明其为 0.8mm 厚的薄板，不再画第二视图。此时三个圆均理解为通孔。因为不通孔或凸台，必定有另一图形表示其深浅或高低，并标注尺寸。

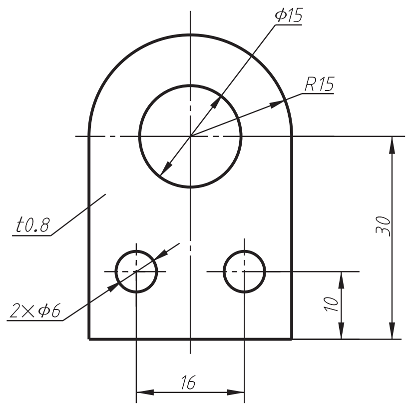


图 1-22　图示尺寸与自明尺寸

1.2　尺规制图工具及其使用

正确地使用尺规制图工具（铅笔、丁字尺、三角板、圆规、手工绘图机等），既能保证图样的质量，又能提高绘图速度。本节对常用尺规制图工具及其用法做简单介绍。

1.2.1　图板和丁字尺

图板是用来固定图纸的，表面须平整，并将图板调成与水平面倾斜 20°左右以便于画图，如图 1-23 所示。图板的左侧面是丁字尺上下移动的导边，须平直。在绘图前，用胶带将图纸固定在图板的适当位置上。丁字尺是用来画水平线的，它由尺头与尺身两部分构成。尺头的内侧与尺身上边应保持垂直。使用时须将尺头紧靠图板左侧，然后利用尺身上边画水平线，切忌用下边画线，如图 1-24 所示。

1.2.2　三角板

一副三角板包括两块，一块为 45°的等腰直角三角形，另一块为 30°和 60°的直角三角

形。绘图用三角板各角度必须准确，各边必须平直。用三角板与丁字尺配合可画垂直线及与水平线成 15°角整倍数的倾斜线。两块三角板配合，还可以画已知直线的平行线和垂直线。

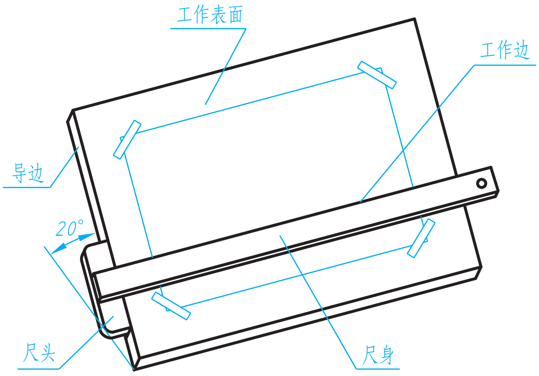
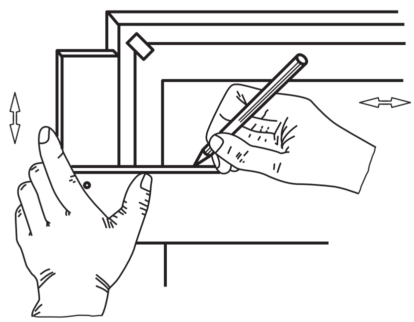


图 1-23　图板、丁字尺


图 1-24　丁字尺画水平线

1.2.3　绘图仪器

成套的绘图仪器装在特制的盒内，件数不一。其中常用的有分规、圆规。

1. 分规

分规用来量取线段和分割线段。分规两腿端带有钢针，常用的有大分规和弹簧分规，如图 1-25a 所示。当两腿合拢时，两针尖应合成一点，如图 1-25b 所示。分规用来截取等长线段及分割线段，如图 1-25c 所示。

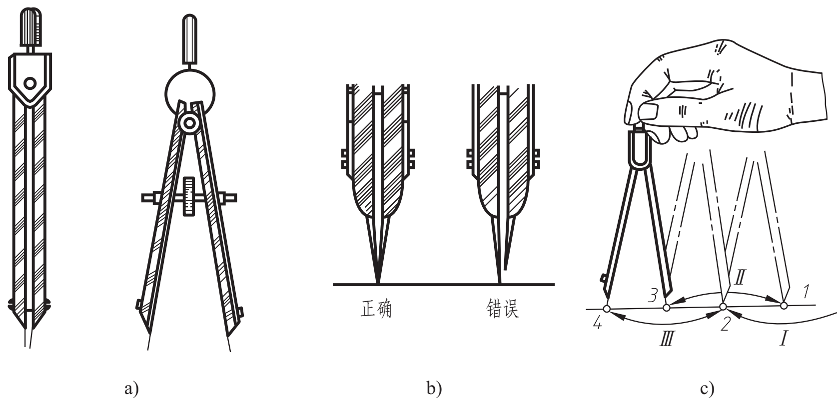


图 1-25　分规及其应用

2. 圆规

圆规用来画圆或圆弧。换上针尖插腿，也可作分规用。圆规的一条腿上装有钢针，钢针一端有台阶。画圆时用带台阶的针尖。另一条腿上具有肘形关节，可装铅笔插腿，用来画铅笔图，如图 1-26 所示。

1.2.4　曲线板

曲线板是用来画非圆曲线的，其轮廓线由不同曲率的曲线组成。画图时先用铅笔徒手把曲线上各点轻轻地连接起来，然后选择曲线板上曲率合适的部分描绘，如图 1-27 所示。画

每一分段时，应少描一部分，留待画后一段时与曲线板再次吻合后描绘，即每画一段应和前一段的末端有一段相重合，以保证曲线连接圆滑。

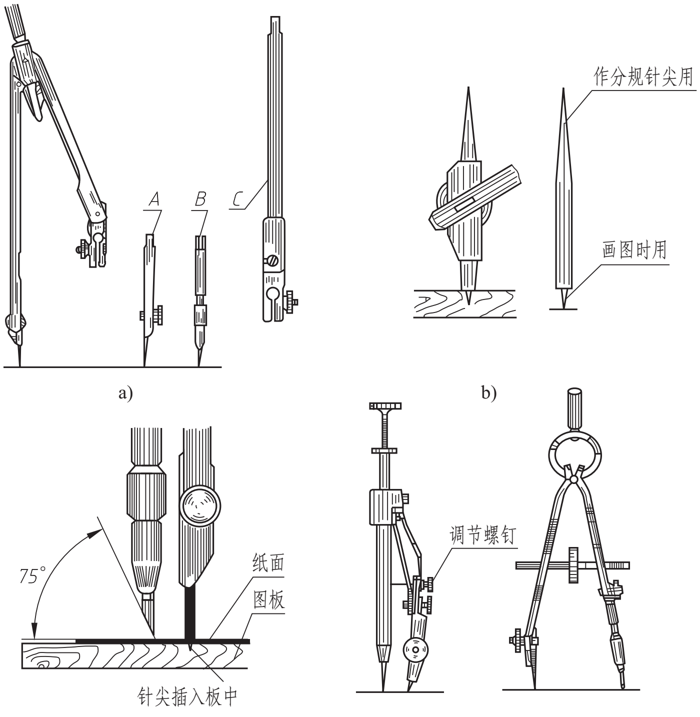


图 1-26 圆规及其应用

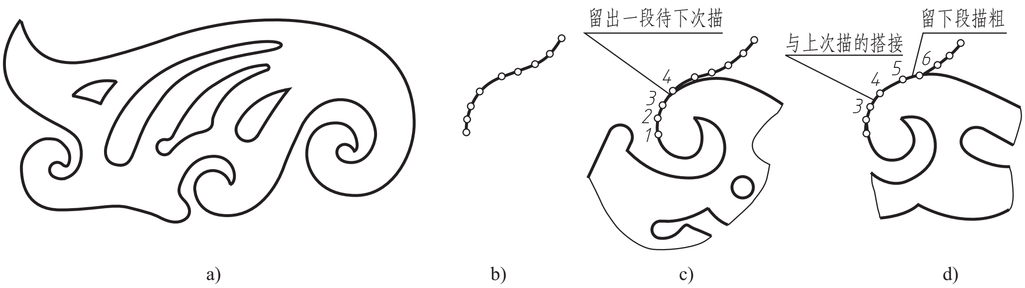


图 1-27 曲线板及其使用

1.2.5 铅笔

绘图铅笔一般用 H 和 B 分别表示铅芯的硬度。可根据绘制的线型选用不同硬度的铅笔。画底稿时，用较硬的铅笔，如 H、2H，加深时则用较软的铅笔，如 B、2B。写字时，则用软硬适中的 HB 铅笔。

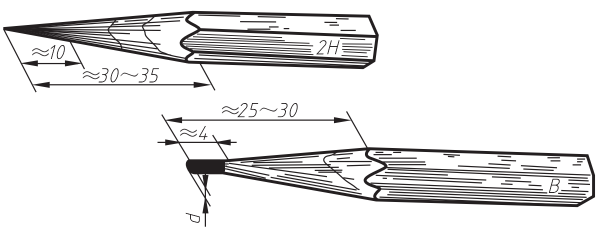


图 1-28 铅笔

铅笔可削成锥形或楔形，如图 1-28所示。锥形适用于画底稿和写字以及画细线；楔形则用于画粗线。铅

笔应从无字一端开始使用，以保留铅芯硬度标志。

1.3 几何作图

图样上表达机件形状的各种图形，都是由线段、圆弧及其他曲线按一定的几何关系连接而成的。因此，在作图时首先要分析图形的几何关系，然后采用合理的作图步骤进行作图。

1.3.1 等分圆周及作圆内接正多边形

1. 圆的六等分及作正六边形

圆内接正六边形的边长等于其外接圆半径，所以六等分圆及作正六边形的方法如图 1-29a、b 所示。也可利用丁字尺、三角板配合作图，如图 1-29c 所示。

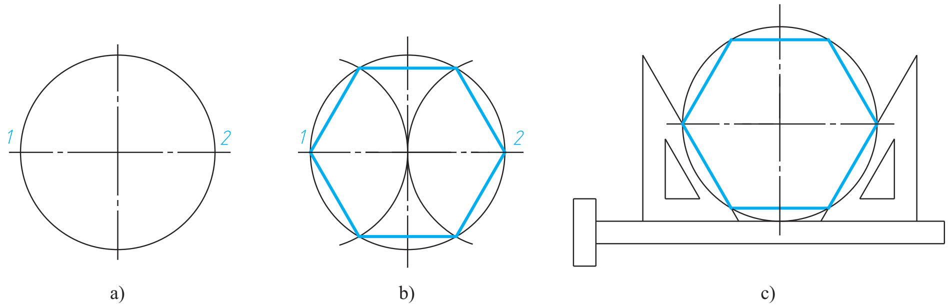


图 1-29 圆内接正六边形画法

2. 圆的五等分及作正五边形

圆的五等分及正五边形作法如图 1-30 所示。作出半径 OB 的中点 E，以 E 为圆心，EC 为半径画圆弧交 OA 于 F 点，CF 即为圆内接正五边形的边长。

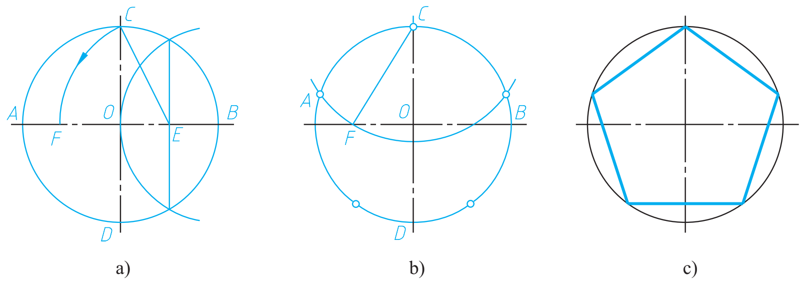


图 1-30 圆内接正五边形画法

3. 圆的 n 等分及作正 n 边形

以 $n=7$ 等分圆及作正七边形为例，说明其作图方法，如图 1-31 所示。

1）将直径 AB 分为 $n=7$ 等分。

2）以 B 为圆心 AB 为半径画圆，交水平直径延长线于 M、N 点。

3）连接 N_2、N_4、N_6 并延长，分别交圆周于Ⅵ、Ⅴ和Ⅳ点，作出其对应点Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ。

4）顺次连接各点，即得圆内接正七边形。

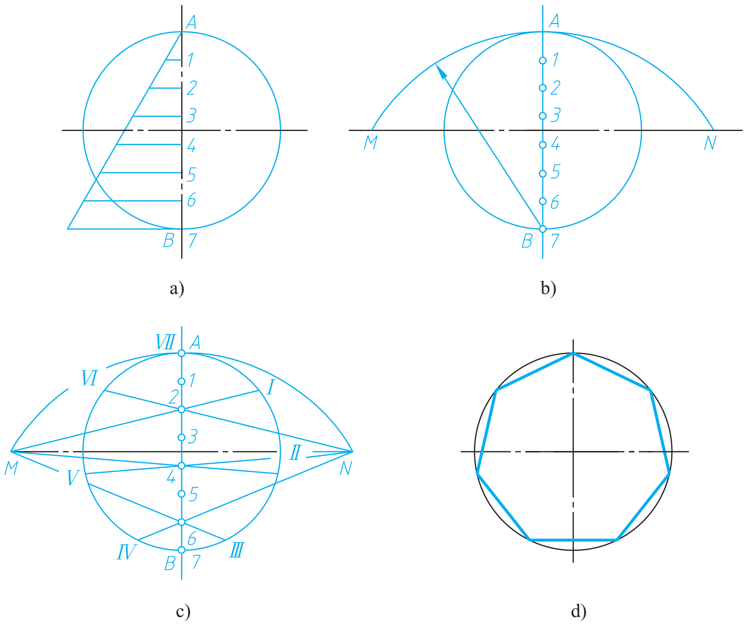


图 1-31　圆内接正 *n* 边形画法

1.3.2　斜度和锥度

1. 斜度

一直线对另一直线、一平面对另一平面的倾斜程度称为斜度，如图 1-32 所示。直线 *AC* 对水平线 *AB* 的斜度，用 *BC* 与 *AB* 的长度之比（即倾角 α 的正切）来度量。工程上常用 1∶*n* 的形式来表示，*n* 取正整数。

根据已知斜度作图，其方法如图 1-33a、b 所示。先作已知斜度（1∶10）的直线，然后过斜度线段上的任一点作该直线的平行线，再根据其他所给的尺寸完成槽钢断面图的绘制。

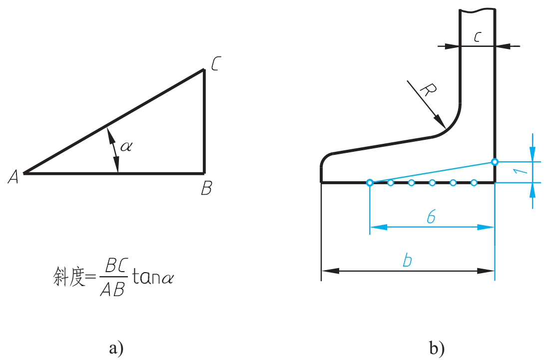


图 1-32　斜度

斜度的标注，如图1-33c 所示。用斜度符号标注在图形上有斜度的位置上。注意斜度符号的方向与所画斜度方向一致。

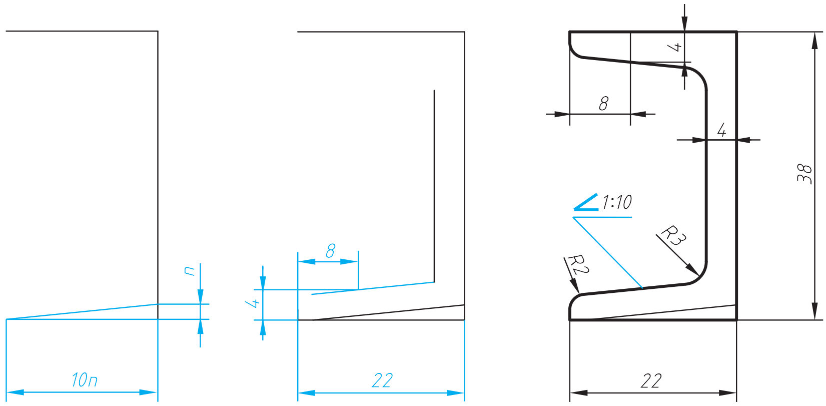
2. 锥度

正圆锥底圆直径与其高度之比称为锥度。对于圆台，则为两底圆直径之差与其高度之比，如图 1-34 所示。工程上亦用 1∶*n* 的形式来表示。

根据已知锥度作图，其方法如图 1-35a、b 所示。首先画出已知锥度的辅助小圆锥，然后过已知点作小圆锥轮廓线的平行线，最后根据尺寸完成全图。

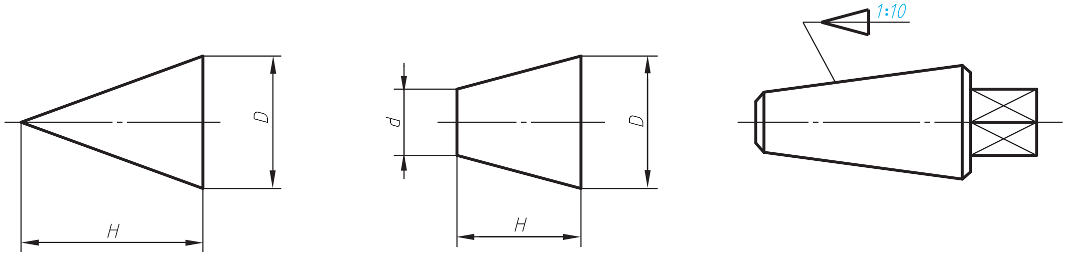
锥度的标注如图 1-34c 和图 1-35c 所示，用锥度符号标注在图形上有锥度的位置上。符号的方向应与所画锥度方向一致。

斜度和锥度符号的画法如图 1-36 所示，符号的线宽为 *h*/10。



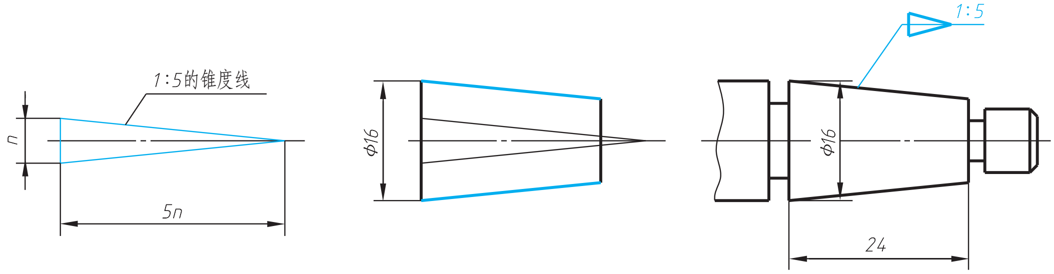
a)　　b)　　c)

图 1-33　斜度画法及标注



a) 锥度 $=\frac{D}{H}$　　b) 锥度 $=\frac{D-d}{H}$　　c) 锥度的标注

图 1-34　锥度



a)　　b)　　c)

图 1-35　锥度画法及标注

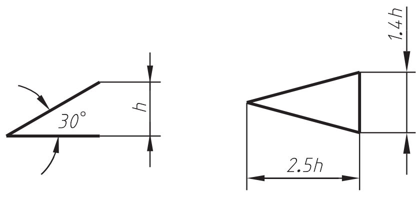
1.3.3　非圆平面曲线

常见的平面曲线有椭圆、渐开线、阿基米德螺线和摆线，这里只介绍椭圆和渐开线的画法。

1. 椭圆

椭圆的画法有两种。

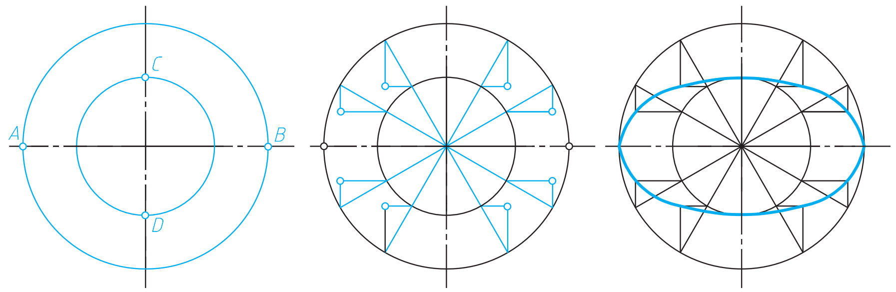
（1）同心圆法　如图 1-37 所示，首先分别以长



a)　　b)

图 1-36　斜度和锥度符号的画法

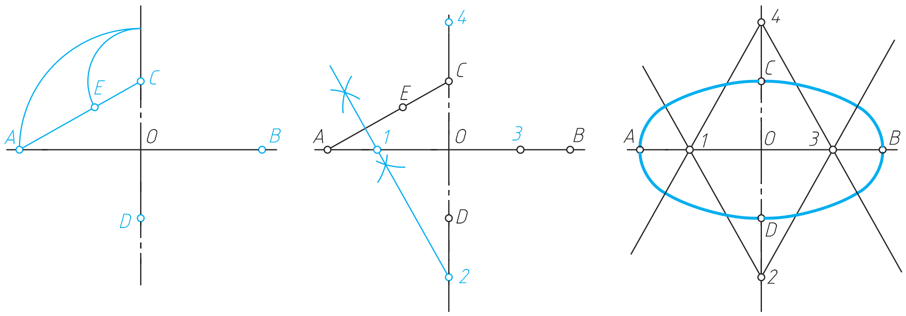
轴 *AB* 和短轴 *CD* 为直径作两个同心圆，然后过圆心作一系列直线，与两圆相交得一系列点，过与大圆的交点作短轴的平行线，过小圆上的交点作长轴的平行线，两组相应直线的交点即为椭圆上的点，最后用曲线板将所得交点连接成光滑曲线，即得椭圆。



a)　　　b)　　　c)

图 1-37　同心圆法画椭圆

（2）四心圆弧法　如图 1-38 所示，首先作出椭圆的长轴 *AB* 及短轴 *CD*，然后连接 *AC*，并取 *CE*=*OA*−*OC*，得 *E* 点，再作 *AE* 的中垂线，分别交长、短轴于 1、2 两点，并作出其对称点 3、4，连 14、12、32 和 34 并延长，最后分别以 1、3 为圆心，1*A* 为半径画圆弧，再以 2、4 为圆心，2*C* 为半径画圆弧，即得椭圆。



a)　　　b)　　　c)

图 1-38　四心圆弧法画椭圆

2. 渐开线

圆的渐开线，是一直线沿圆周做无滑动的滚动时直线上任一点的轨迹。其作图方法如图 1-39 所示。

将已知圆周分为若干等份（图中为 12 等份），并将圆周的展开长度 π*D* 也分成相同的等份。然后过圆上各等分点作圆的切线，自切点在各切线上依次截取 π*D*/12，2π*D*/12，3π*D*/12…，得Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ…点，将这些点依次连接成光滑曲线，即得圆的渐开线。

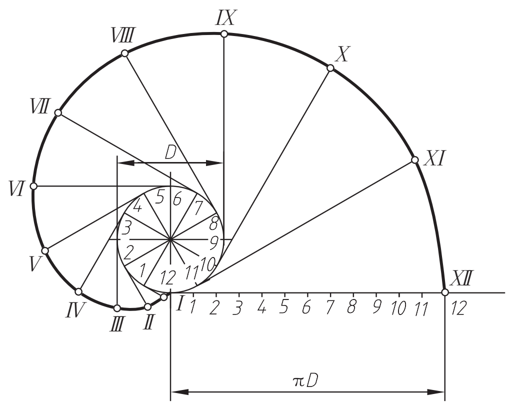


图 1-39　圆的渐开线

1.3.4 圆弧连接

画图时，常遇到从一条线（直线或圆弧）光滑地过渡到另一条线的情况。这种光滑过渡就是平面几何中的相切。在制图中称为连接，切点称为连接点。常见的是用圆弧连接各种已知线段，这时圆弧称为连接弧。作图时，连接弧的半径是给定的，而连接弧的圆心（连接中心）和连接点通过作图确定。

1. 圆弧连接的作图原理

1）半径为 R 的圆弧若与已知直线相切，其圆心轨迹是距已知直线为 R 的平行线，由圆心向已知直线作垂线，垂足为切点，如图 1-40a 所示。

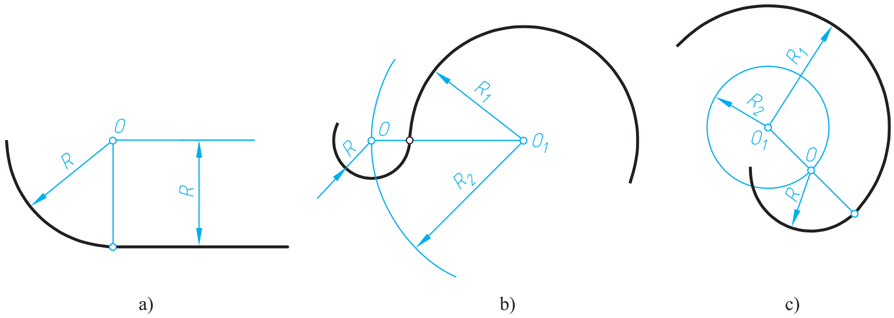


图 1-40 圆弧连接的作图原理

2）半径为 R 的圆弧若与已知圆弧（圆心为 O_1 半径为 R_1）相切，其圆心轨迹是已知圆的同心圆。此同心圆的半径 R_2 根据相切情况而定：当圆弧外切时，$R_2=R_1+R$，如图 1-40b 所示；当两圆弧内切时 $R_2=R_1-R$，如图 1-40c 所示；圆心连线 OO_1 与圆弧的交点即为切点。

2. 圆弧连接的几种情况

（1）用半径为 R 的圆弧连接两已知直线　Ⅰ和Ⅱ为两已知直线，需用半径为 R 的圆弧连接起来。首先要求连接弧的圆心，为此，作直线Ⅲ和Ⅳ使之与Ⅰ和Ⅱ平行且距离为 R，其交点 O 即为所求连接弧的圆心。然后从圆心 O 分别向Ⅰ和Ⅱ直线作垂线，垂足 K_1 和 K_2 为连接点。以 O 为圆心，R 为半径画圆弧 K_1K_2 把两直线光滑连接起来，如图 1-41 所示。

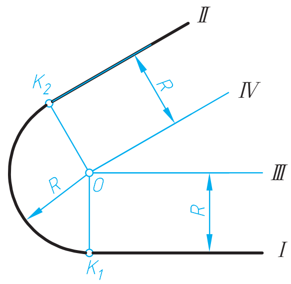
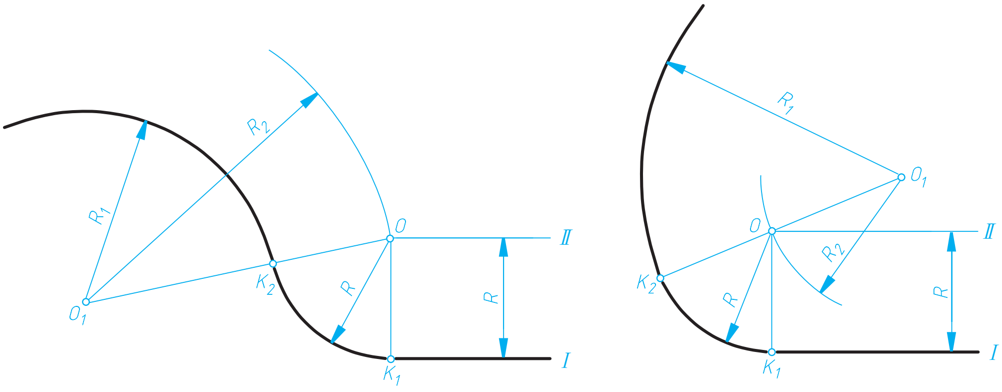


图 1-41 用圆弧连接两已知直线

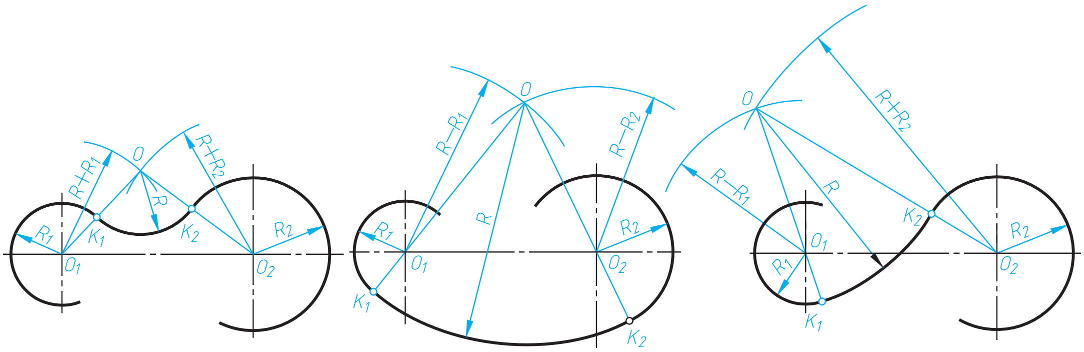
（2）用半径为 R 的圆弧连接一直线和一圆弧　已知直线Ⅰ，已知圆弧的圆心为 O_1，半径为 R_1，如图 1-42 所示。与已知直线相切的连接弧圆心轨迹为直线Ⅱ，与已知圆弧相切的连接弧圆心轨迹为同心圆，半径为 R_2。两轨迹线的交点即为连接弧的圆心。由此圆心向已知直线作垂线，垂足为一连接点；圆心连线与已知圆弧的交点，为另一连接点。求得连接圆弧圆心和连接点后，即可用已知半径 R 作出连接弧，图 1-42 所示为两种不同情况的作法。

（3）用半径为 R 的圆弧连接两已知圆弧　这种连接形式有三种情况：连接弧与已知两圆弧皆外切；连接弧与两已知圆弧皆内切；连接弧与一已知圆弧外切，与另一已知圆弧内切。两已知圆弧的圆心分别为 O_1、O_2，半径分别为 R_1、R_2。现以外切为例说明作法，如图 1-43a 所示。



a)　　　　b)

图 1-42　用圆弧连接直线和圆弧



a)　　　　b)　　　　c)

图 1-43　用圆弧连接两圆弧

分别以 O_1 和 O_2 为圆心，以 $R+R_1$ 和 $R+R_2$ 为半径画圆弧，其交点即为连接弧的圆心；圆心连线 OO_1 和 OO_2 与两已知弧的交点 K_1、K_2 即为连接点。以 O 为圆心，以 R 为半径画圆弧 K_1K_2 即把两已知圆弧连接起来。

其他两种情况的画法，如图 1-43b、c 所示。

1.4　平面图形的画法及尺寸标注

平面图形通常是由一些线段连接而成的一个或数个封闭线框构成。画图时，要根据平面图形中所标注的尺寸，分析其中各组成部分的形状、大小和它们的相对位置，从而确定正确的画图步骤。

1.4.1　平面图形的尺寸分析

平面图形中各组成部分的大小和相对位置是由其所标注的尺寸确定的。平面图形中所标注的尺寸，按其作用可分为以下两类：

1. 定形尺寸

用以确定平面图形各组成部分的形状和大小的尺寸，称为定形尺寸。例如，线段的长、

圆的直径、圆弧的半径等。如图 1-44 中，尺寸 $\phi10$，$\phi5$，$R28$，$R3$；线段长度 10，6 等。

2. 定位尺寸

用以确定平面图形中各组成部分之间相对位置的尺寸，称为定位尺寸。因为平面图形具有两个方向的自由度，所以一般情况下平面图形中每一部分都有两个方向的定位尺寸。例如，图 1-44 中尺寸 60 为圆弧 $R3$ 长度方向的定位尺寸，宽度方向的定位尺寸省略未注，这是因为圆心在轴线上。

标注定位尺寸起始位置的点或线，称为尺寸基准。在平面图形中一般要有长度和宽度两个方向的基准。

通常选取图形的对称线、较大圆的中心线、图形底线或端线作为尺寸基准。如图 1-44 中，长度方向的尺寸基准选取左端线，宽度方向则以对称中心线——轴线作为尺寸基准。应当指出，有的尺寸既属于定形尺寸，又可视为定位尺寸。如图 1-44 中，尺寸 10 既是左端图形的定形尺寸，又可看作与其相连图形的长度方向的定位尺寸。

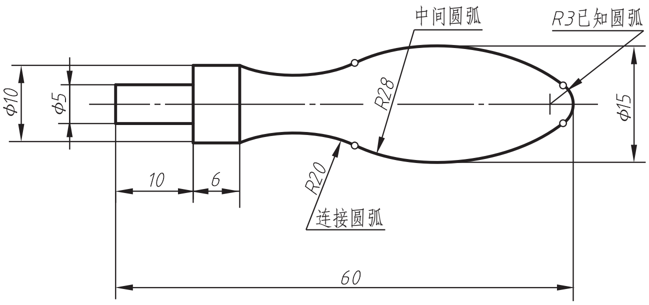


图 1-44 平面图形的尺寸分析和线段分析

1.4.2 平面图形的线段分析

根据所给出的尺寸，组成平面图形的线段可以分为以下三种：

1. 已知线段

根据所给出尺寸能直接画出的圆弧或线段，称为已知线段。给出圆弧半径和圆心位置的两个方向定位尺寸的圆弧，称为已知圆弧，如图 1-44 中的 $R3$ 圆弧。

2. 中间线段

给出圆弧半径大小和圆心位置的一个方向定位尺寸的圆弧，称为中间圆弧，如图 1-44 中的 $R28$ 即属于中间圆弧。中间圆弧不能直接作图，必须根据它与已知圆弧的连接关系，求出连接中心，才能作出。

若线段过一已知点且与已知圆弧相切，则为中间线段。

3. 连接线段

仅给出半径大小的圆弧，称为连接圆弧。如图 1-44 中的 $R20$ 即属于连接圆弧，连接圆弧的圆心，也需通过几何作图求出。

若线段两端与已知圆弧相切，则为连接线段。

1.4.3 平面图形的画图步骤

在对平面图形进行尺寸分析和线段分析之后，就可得出画图步骤：先画已知线段，再画

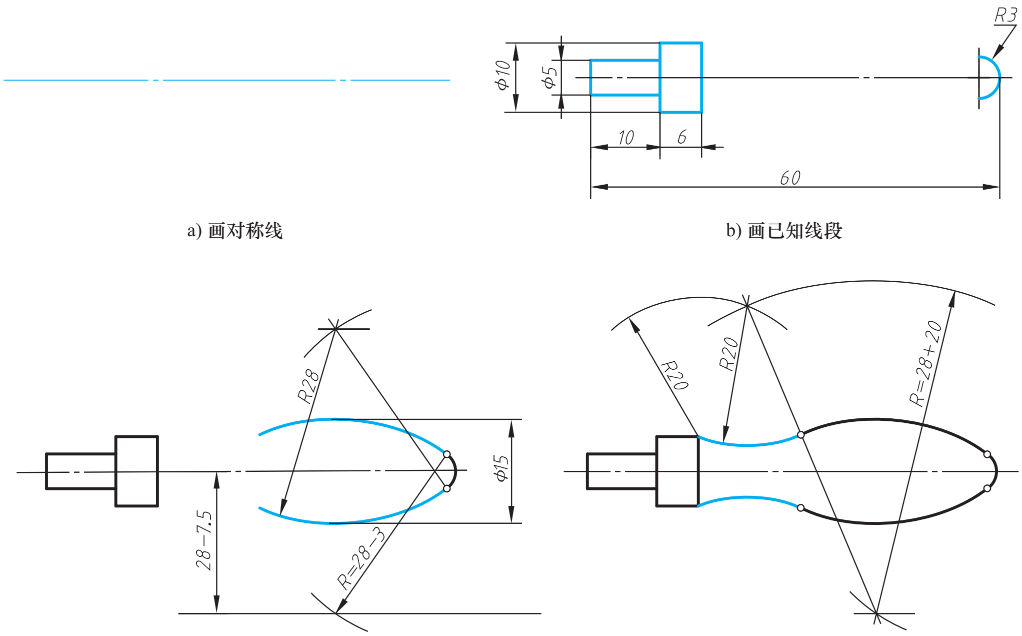
中间线段，最后画连接线段。现以图 1-44 所示平面图形为例，说明画图的具体步骤，如图 1-45 所示。

1）画对称中心线，如图 1-45a 所示。

2）画已知线段，如图 1-45b 所示。

3）画中间圆弧 $R28$，如图 1-45c 所示。

4）画连接圆弧 $R20$，如图 1-45d 所示。



a) 画对称线　　b) 画已知线段

c) 画中间线段　　d) 画连接线段

图 1-45　平面图形的画图步骤

1.4.4　平面图形的尺寸标注

标注平面图形尺寸时，首先要对平面图形进行分析，弄清由哪些基本几何图形构成，并确定已知线段、中间线段和连接线段，从而弄清各部分之间的相互关系。然后选择合适的基准，依次注出各部的定位尺寸和定形尺寸。

例 1-1　注出图 1-46a 所示平面图形的尺寸。

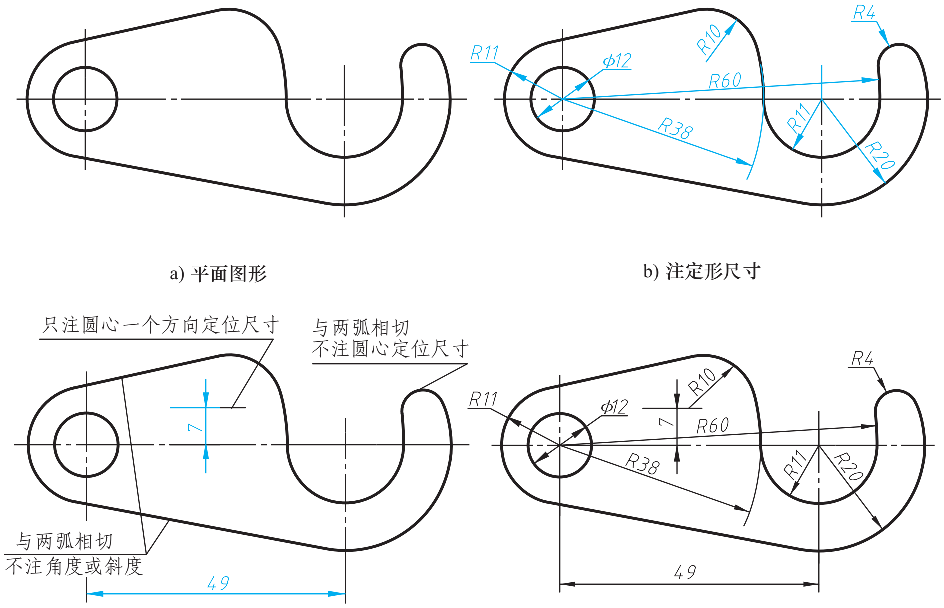
（1）分析图形，确定基准　选水平中心线为宽度方向基准。左边圆的竖直中心线为长度方向基准。

（2）注定形尺寸　$R11$，$\phi12$，$R38$，$R60$，$R11$，$R4$，$R10$，$R20$，如图 1-46b 所示。

（3）注定位尺寸　$R11$、$\phi12$ 与 $R11$ 及 $R20$ 的圆心定位尺寸为 49。$R10$ 圆弧为中间圆弧，需给出圆心的一个方向定位尺寸 7，另一方向通过连接关系确定，如图 1-46c 所示。其他线段或圆弧均为连接线段或圆弧，不用注定位尺寸。

（4）完成全图尺寸　完成的尺寸标注如图 1-46d 所示。

常见的平面图形尺寸注法如图 1-47 所示。



a) 平面图形　　b) 注定形尺寸

c) 注定位尺寸　　d) 完成全图尺寸

图 1-46　平面图形的尺寸注法

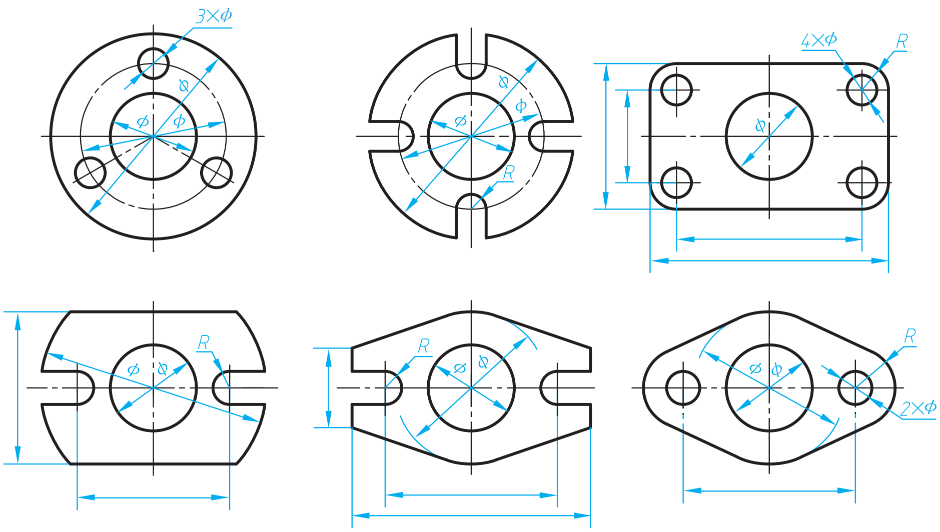


图 1-47　常见的平面图形尺寸注法

1.5　徒手绘图的技巧

徒手绘图是指以目测估计图形与实物的比例，按一定画法要求徒手绘制的图样，它是工程技术人员的一项基本技能。由于徒手绘图迅速简便，因此，在创意设计、交流构思、现场测绘及技术交流中占有重要的地位。徒手图要求做到：图线清晰、粗细分明、字体端正、图面整洁。

下面介绍徒手图中线段和圆的画图技巧。

1.5.1 直线的画法

画徒手图时，图纸在图板上不用固定。画水平线时，可把纸转到约45°方向画，这样运笔顺畅。画水平线时，要执笔自然，眼睛要看着线段的终点，小手指轻轻地与纸面接触，这样可保证图线平直，如图1-48所示。画竖直线如图1-49所示，画较短的线时，可只运动手腕，画长线时可运动手臂。

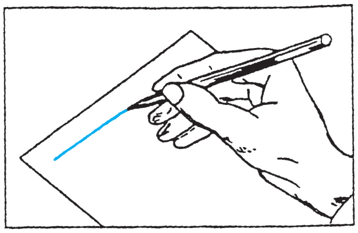


图1-48 徒手画水平线

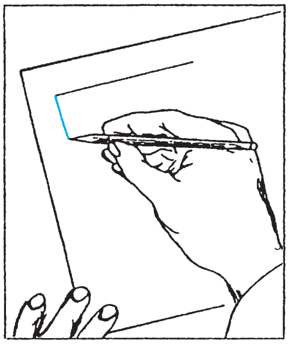
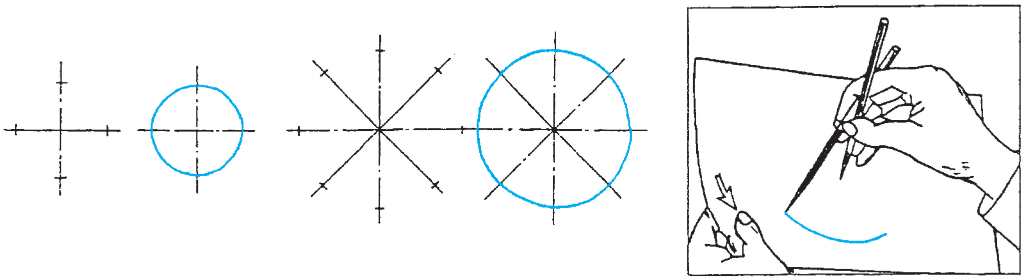


图1-49 徒手画竖直线

1.5.2 画圆

画小圆时，可在对称中心线上截取半径，得四个点作圆周，如图1-50a所示。画大圆时，可在八个方向上取点，然后过八个点徒手画圆，如图1-50b所示。

画大圆时，也可用如图1-50c所示的方法，把两支铅笔当成圆规来用，但不转动，而转动图纸画圆。



a) 画小圆　　b) 画大圆(一)　　c) 画大圆(二)

图1-50 徒手画圆的方法

第 2 章

点、直线和平面的投影

2.1 投影法的基本知识

2.1.1 投影法的概念

在日常生活中，物体在阳光或灯光的照射下，在墙上或地面上就会出现该物体的影子。人们根据这种自然现象，在生产实践中创造出一种绘制图样的方法——投影法。

如图 2-1 所示，S 为投射中心，A 为空间一点，P 为投影面，SA 连线为投射线，它与投影面 P 的交点 a 即为空间 A 点在投影面 P 上的投影。在投影面和投射中心确定的条件下，空间点 A 在投影面上的投影是唯一确定的。但是，点的一个投影，不能确定点在空间的位置，如图 2-1 中的点 A_1 和 A_2 的投影均为 a。

2.1.2 投影法的种类

1. 中心投影法

投射中心 S 位于投影面 P 上方有限远的地方，投射线由 S 点发出，这种投影法称为中心投影法，如图 2-2a 所示。这种投影法常用来画建筑物的透视图，机械工程图样中很少采用。

2. 平行投影法

假想把投射中心 S 移到距投影面 P 无穷远处，则投射线可视为互相平行，这种投影法称为平行投影法，如图 2-2b 所示。

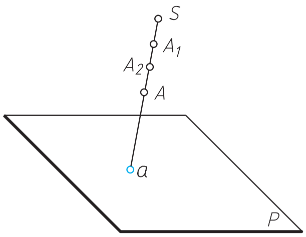


图 2-1 投影法的基本概念

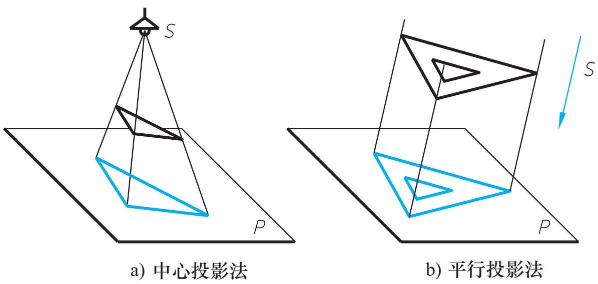
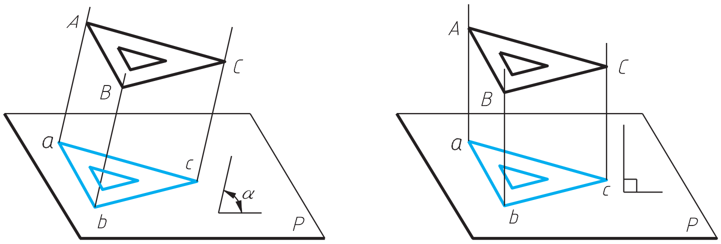


图 2-2 两种投影法

平行投影法按投射线与投影面垂直与否，又分为两种。

1）斜投影法（又称斜角投影法）。投射线与投影面 *P* 倾斜，如图 2-3a 所示。

2）正投影法（又称直角投影法）。投射线与投影面 *P* 垂直，如图 2-3b 所示。



a) 斜投影法　　b) 正投影法

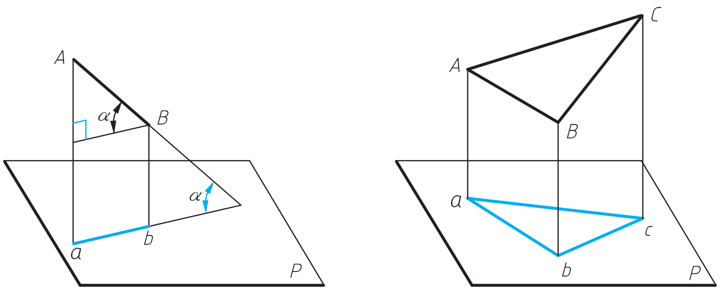
图 2-3　平行投影法的种类

由于这种投影法能正确地表达物体的真实形状和大小，并且作图方便因此在机械工程中主要采用正投影法。

2.1.3　正投影法的基本性质

1. 类似性

线段或平面与投影面倾斜时，其线段投影小于实长；平面的投影为小于实形且边数相同的图形，这种性质称为类似性，如图 2-4 所示。

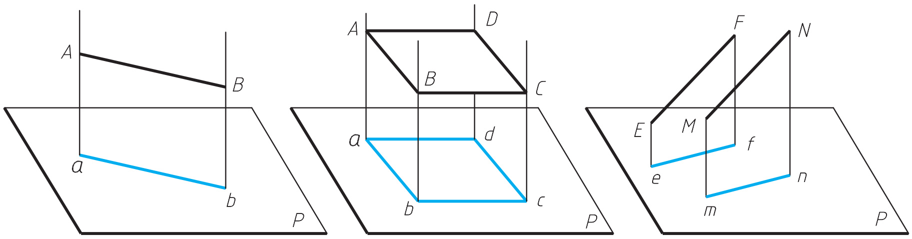


a)　　b)

图 2-4　投影的类似性

2. 不变性

直线或平面与投影面平行时，其投影反映实长或实形，如图 2-5a、b 所示。空间互相平行的直线，其投影也互相平行，如图 2-5c 所示。这种性质称为投影不变性。



a)　　b)　　c)

图 2-5　投影的不变性

3. 积聚性

直线或平面与投影面垂直时，直线的投影积聚为一点，平面的投影积聚为一直线。这种性质称为投影的积聚性，如图 2-6 所示。

4. 从属性和定比性

属于直线的点，其投影也属于此直线的投影，且该点分线段长度之比等于其投影分线段投影长度之比。如图 2-7 所示，$AK:KB=ak:kb$，这种性质称为从属性和定比性。

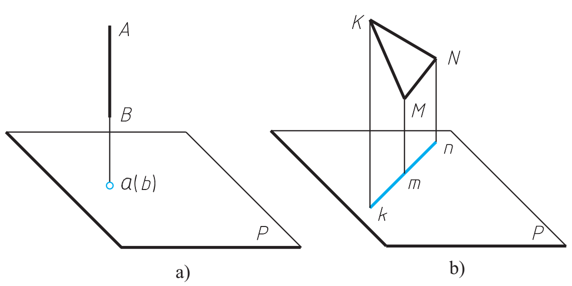


图 2-6　投影的积聚性

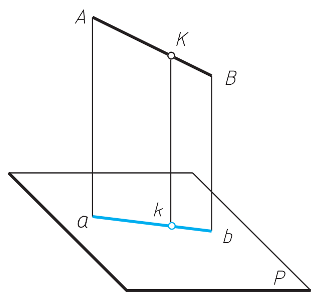


图 2-7　投影的从属性

2.2　机械工程中常用的两种投影图

2.2.1　多面正投影图

由于正投影法具有前述的一些性质，所以画物体的正投影图就变得较为简单了。但是只作出物体在一个投影面的正投影图，是不能唯一确定其空间形状的，如图 2-8 所示。因此，在机械工程中通常采用多面正投影图。图 2-9a 表示的是三投影面体系的构成，其中 V、H、W 是两两正交的投影面，图 2-9b 则为物体的三面投影图。由于这种投影图能完整、确切地表示出物体的形状、大小，而且作图也比较简便，所以在工程图样中得到广泛应用，今后将主要研究这种投影图。

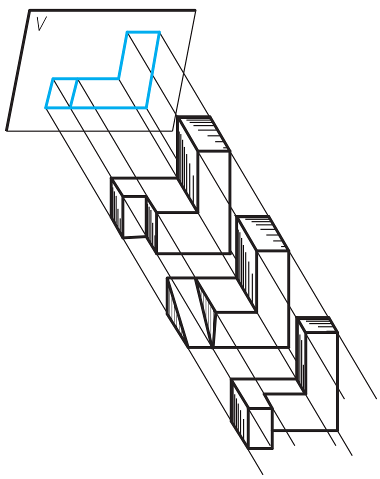
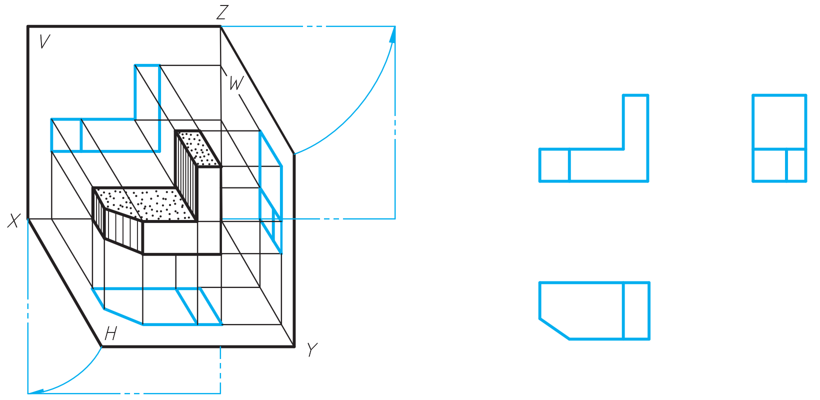


图 2-8　一个投影不能确定物体形状

2.2.2　轴测投影图

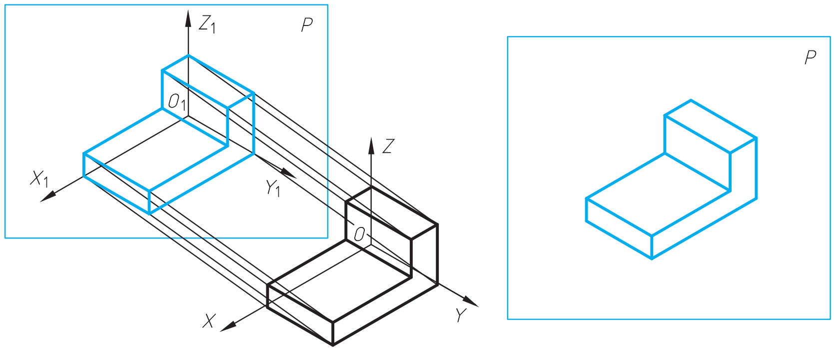
多面正投影图虽有上述一些优点，但也有缺乏立体感之不足，只有具备一定读图能力的人才能看懂这种图样。为了帮助人们看图，工程上常采用轴测投影图，简称轴测图。

轴测图是利用平行投影法所获得的单面投影图，其形成过程如图 2-10a 所示，图 2-10b 则为轴测投影图。这种图样虽然立体感较强，但作图复杂，且度量性较差，所以仅作为一种辅助图样在一定范围内采用。轴测图的作图原理和方法将在第五章进行讲授。



a)　　　　b)

图 2-9　多面正投影图



a)　　　　b)

图 2-10　轴测投影图

2.3　点的投影

众所周知，物体是由点、线和面组成的，为了深刻理解物体的投影规律，迅速、正确地画出投影图，需要深入研究组成物体的最基本的几何元素——点的投影规律。

2.3.1　点在三投影面体系中的投影及其投影规律

以相互垂直的三个平面作为投影面，便组成了三投影面体系，如图 2-11 所示。正立放置的投影面称为正立投影面，用 *V* 表示；水平放置的投影面称为水平投影面，用 *H* 表示；侧立放置的投影面称为侧立投影面，用 *W* 表示。相互垂直的三个投影面的交线称为投影轴，分别用 *OX*、*OY*、*OZ* 表示。三个投影轴的交点称为原点，用 *O* 表示。

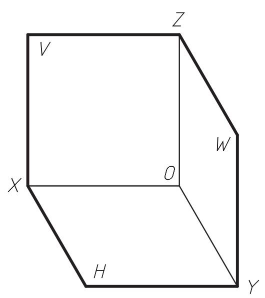


图 2-11　三投影面体系

图 2-12a 为点 *A* 在三投影面体系中向三个投影面作正投影的情形。点的三面投影就是从点 *A* 分别向三个投影面所作垂线的垂足。

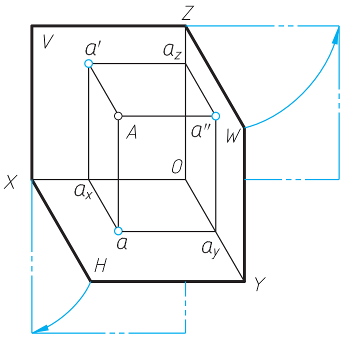
规定空间的点用大写字母 *A* 表示，它的水平投影用相应的小

写字母 a 表示，正面投影用 a'表示，侧面投影用 a''表示。投射线 Aa、Aa'和 Aa''分别为 A 点到水平面、正面和侧面的距离。Aa、Aa'和 Aa''中的每两条线决定一个平面，构成一个与相应的投影面和投影轴垂直相交的平面，从而构成一个长方体。其中：

$Aa''=aa_y=a'a_z=Oa_x=X_A$ 即点 A 到 W 面的距离；

$Aa'=aa_x=a''a_z=Oa_y=Y_A$ 即点 A 到 V 面的距离；

$Aa=a'a_x=a''a_y=Oa_z=Z_A$ 即点 A 到 H 面的距离。



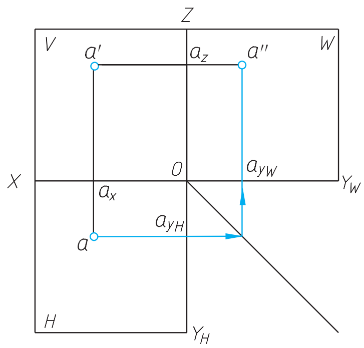


图 2-12 点在三投影面体系中的投影

V 面不动，按箭头所指方向将 H 面和 W 面展开，与 V 面处在一个平面，即得到点 A 的三面投影图，如图 2-12b 所示，Y 轴一分为二，分别用 Y_H 和 Y_W 表示。去掉投影面的边框，即得到点的三面投影图，如图 2-13 所示。

综上所述，点在三投影面体系中的投影规律如下：

1） 点的正面投影和水平投影的连线垂直于 OX 轴，即 $a'a\perp OX$。

2） 点的正面投影和侧面投影的连线垂直于 OZ 轴，即 $a'a''\perp OZ$。

3） 点的水平投影到 X 轴的距离等于其侧面投影到 Z 轴的距离，即 $aa_x=a''a_z$。

这三条投影规律是今后画点的投影图必须遵守的重要依据。

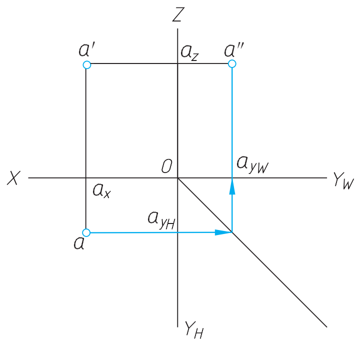


图 2-13 点的三面投影

2.3.2 点的投影和直角坐标的关系

若把图 2-12a 的三投影面体系看作空间直角坐标系，则各投影面和投影轴即为相应的坐标面和坐标轴，点 O 为坐标原点。由此，可把点的投影和点的空间坐标数值联系起来。此时点 A 的三个坐标值 X_A、Y_A、Z_A 便是空间点 A 分别到三个投影面 W、V 和 H 面的距离。点的任一投影都由两个坐标值确定，如点 A 的水平投影 a 由 X_A 和 Y_A 确定；a'由 X_A 和 Z_A 确定；a''由 Y_A 和 Z_A 确定。点的任何两个投影，都包含点的三个坐标，因此，可以由点的任意两个投影补画出点的第三个投影。

例 2-1 已知 $A(14, 18, 22)$、$B(30, 18, 0)$、$C(24, 0, 16)$、$D(0, 30, 0)$ 四点，试在三投影面体系中作出直观图，并画出投影图。

作图 1）作直观图，如图 2-14a 所示，在 OX 轴上截取 $Oa_x=14$，OY 轴上截取 $Oa_y=18$，OZ 轴上截取 $Oa_z=22$，过 a_x 作 OZ 的平行线，过 a_z 作 OX 的平行线，两线交于 a'；过 a_x 作 OY 的平行线，过 a_y 作 OX 的平行线，两线交于 a；过 a_y 作 OZ 的平行线，过 a_z 作 OY 的平行线，两线交于 a''，由此得出点 A 的三个投影。再过 a、a' 和 a'' 作相应坐标轴的平行线，三线的交点即为空间点 A。

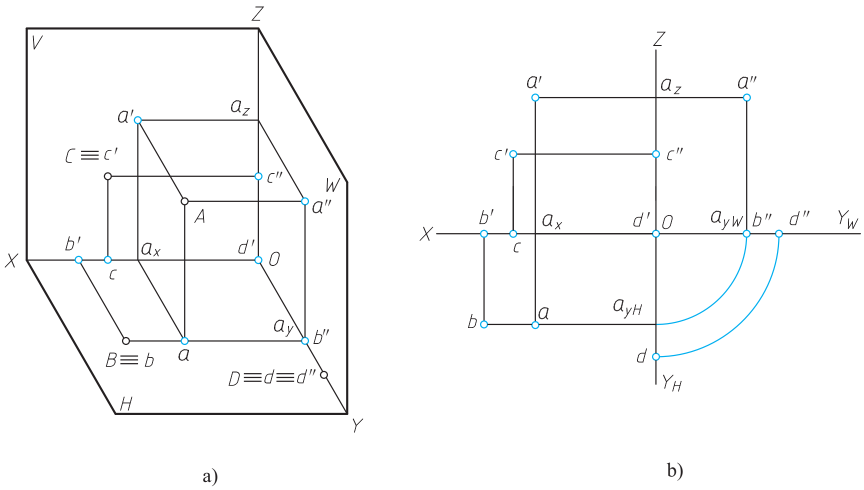


图 2-14 由点的坐标作直观图和投影图

点 B、C、D 的直观图可用同样方法画出。点 B 的 Z 坐标为 0，说明点 B 属于 H 面，其水平投影 b 与 B 重合，而 b'在 OX 轴上，b''在 OY 轴上。类似的，点 C 的 Y 坐标为 0，所以点 C 属于 V 面，c'与 C 重合，而 c 在 OX 轴上，c''在 OZ 轴上。至于点 D，由于其 X 坐标和 Z 坐标均为 0，所以点 D 在 OY 轴上，d 和 d''均与 D 点重合，d'与坐标原点 O 重合。

2）作各点的三面投影图，如图 2-14b。作出投影轴，作点 A 的投影，在 OX 轴上 $Oa_x=X_A=14$；过 a_x 作直线垂直于 OX 轴，由 a_x 向上量取 $a_xa'=Z_A=22$，得出点 A 的正面投影 a'；由 a_x 向下量取 $a_xa=Y_A=18$，得出点 A 的水平投影 a；根据点的投影规律，由 a 和 a'即可作出点 A 的侧面投影 a''。

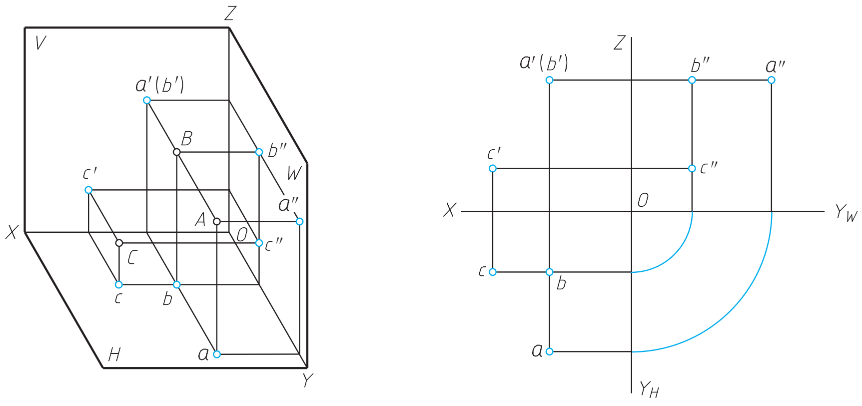
同样的方法，可作出点 B、C、D 的三面投影图。其中点 D 在 OY 轴上（因为 $X_D=Z_D=0$），其水平投影 d 和 D 重合于 OY 轴，而侧面投影 d''应在 OY_W 轴上。

2.3.3 两点的相对位置及重影点

立体上两点间相对位置，是指在三面投影体系中，一个点处于另一点的上、下、左、右、前、后的问题。两点相对位置可用坐标的大小来判断，Z 坐标大者在上，反之在下；Y 坐标大者在前，反之在后；X 坐标大者在左，反之在右。在图 2-15 中，A、C 两点的相对位置：$Z_A>Z_C$，因此点 A 在点 C 之上；$Y_A>Y_C$，则点 A 在点 C 之前；$X_A<X_C$，则点 A 在点 C 之右，结果是点 A 在点 C 的右、前、上方。

当空间两点的某两个坐标相同，即位于同一条投射线上时，它们在该投射线垂直的投影面上的投影重合于一点，此空间两点称为对该投影面的重影点。

如图 2-15 中 A、B 两点位于垂直于 V 面的同一条投射线上（$X_A=X_B$，$Z_A=Z_B$），正面投影



a)　　　　b)

图 2-15　两点相对位置与重影点

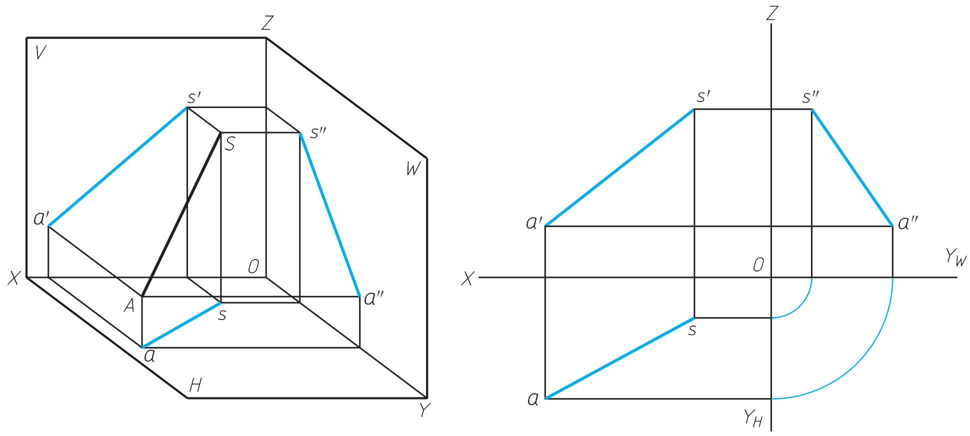
a'和 b'重合于一点。由水平投影（或侧面投影）可知 $Y_A>Y_B$，即点 A 在点 B 的前方。因此点 B 的正面投影 b'被点 A 的正面投影 a'遮挡，是不可见的，规定在 b'上加上圆括号以示区别。

总之，某投影面上出现重影点，判别哪个点可见，应根据它们相应的第三个坐标的大小来确定，坐标大的点是重影点中的可见点。

2.4　直线的投影

2.4.1　直线的投影特性

在一般情况下，直线的投影仍是直线（本书中所述直线，一般指线段，必要时可延长）。两点确定唯一一条直线，只要作出属于直线上任意两点的投影，然后将两点的同面投影连接起来，便得到直线的三面投影图。如图 2-16a 所示为线段 SA 的投影直观图，图 2-16b 所示为 SA 的三面投影图。



a)　　　　b)

图 2-16　直线的投影

2.4.2 各种位置的直线及其投影特性

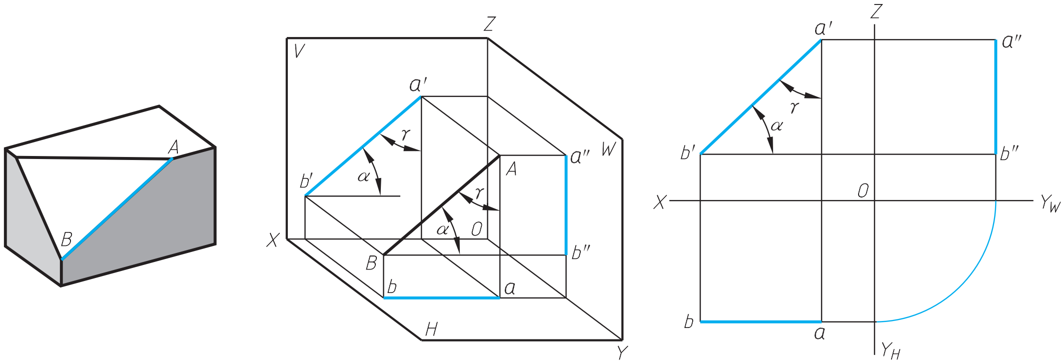
直线与投影面的相对位置有三种情况：投影面平行线、投影面垂直线、一般位置直线。前两种直线又称为特殊位置直线。

1. 投影面平行线

仅与一个投影面平行，而与另外两个投影面倾斜的直线称为投影面平行线。

平行线又分三种：正平线（平行于正面）；水平线（平行于水平面）；侧平线（平行于侧面）。

如图 2-17 所示为正平线 AB 的投影。AB 为立体上一条正平线，即 $AB /\!/ V$ 面，倾斜于 H 面和 W 面。所以它的正面投影反映实长，即 $a'b'=AB$，$a'b'$ 与 OX 轴夹角及 $a'b'$ 与 OZ 轴夹角，反映直线 AB 与 H 面和 W 面倾角的真实大小。因为 $AB /\!/ V$ 面，AB 直线上各点 Y 坐标相等，即到 V 面等距，所以其水平投影 $ab /\!/ OX$ 轴，侧面投影 $a''b'' /\!/ OZ$ 轴。两个投影均小于实长。水平线和侧平线也有类似的投影性质，见表 2-1。



a)　　b)　　c)

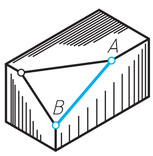
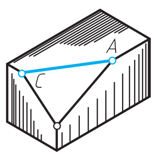
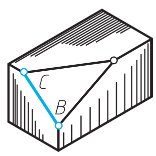
图 2-17　正平线的投影

由此可归纳出投影面平行线的投影特性：

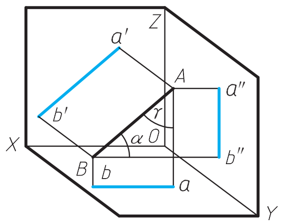
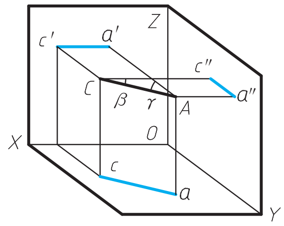
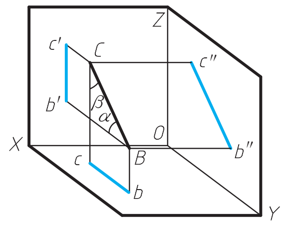
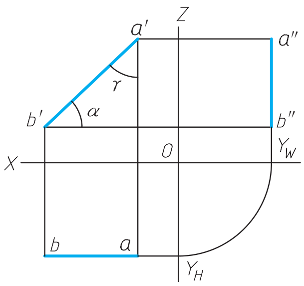
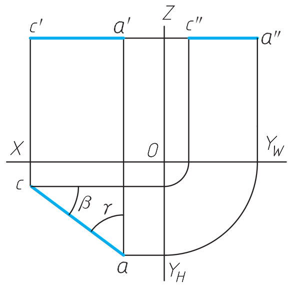
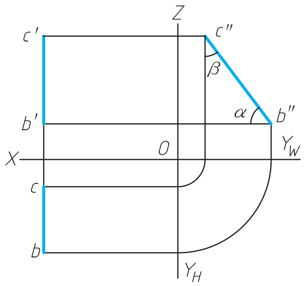
1）直线在所平行的投影面上的投影，反映线段的实长，它与两投影轴的夹角反映空间直线与另两个投影面的真实倾角。

2）其余两个投影分别平行于相应的投影轴且均小于实长。

表 2-1　投影面平行线的投影特性

名称	正平线（$/\!/ V$ 面）	水平线（$/\!/ H$ 面）	侧平线（$/\!/ W$ 面）
实例			

（续）

名称	正平线（//V 面）	水平线（//H 面）	侧平线（//W 面）
直观图			
投影图			
投影特征	1. $a'b'=AB$ 2. $ab // OX, a''b'' // OZ$ 3. 反映 α、γ 实角	1. $ac=AC$ 2. $a'c' // OX, a''c'' // OY_W$ 3. 反映 β、γ 实角	1. $c''b''=CB$ 2. $cb // OY_H, c'b' // OZ$ 3. 反映 α、β 实角

2. 投影面垂直线

与一个投影面垂直，与另外两个投影面平行的直线称为投影面垂直线。

垂直线也分为三种：正垂线（垂直于 V 面）、铅垂线（垂直于 H 面）、侧垂线（垂直于 W 面）。

如图 2-18 所示为铅垂线 ED 的投影。由于 ED 垂直于 H 面，平行于 V 面和 W 面，所以

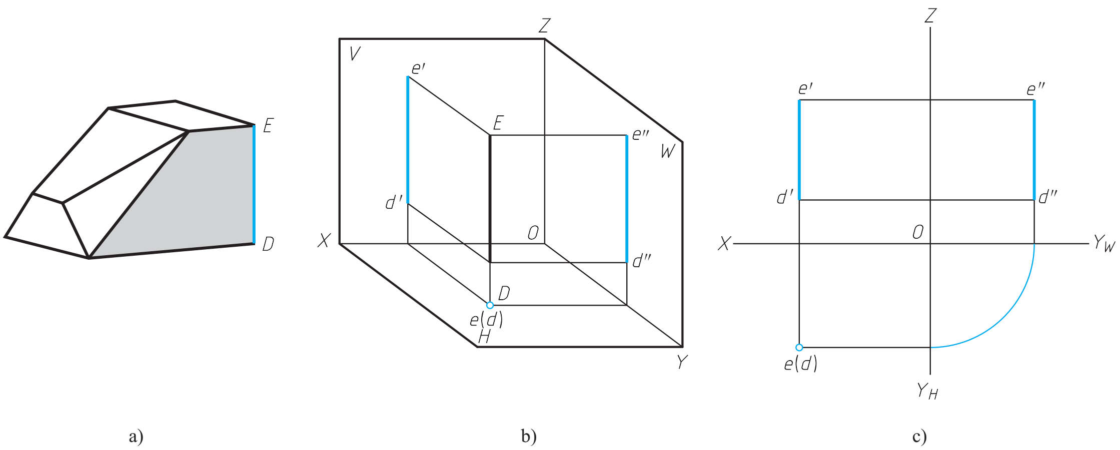
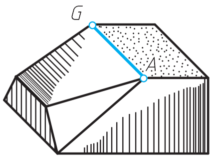
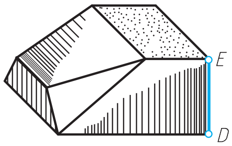
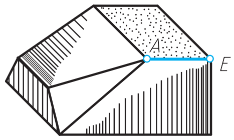
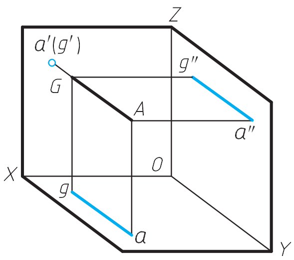
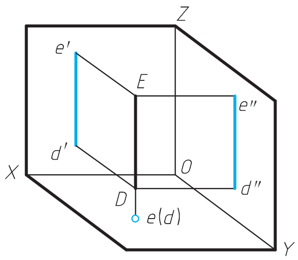
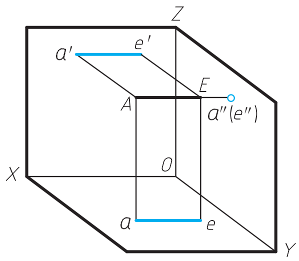
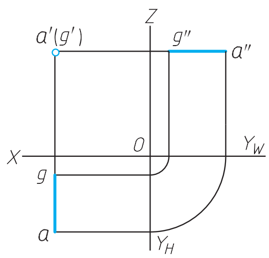
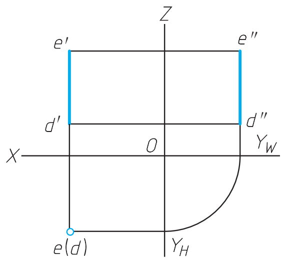
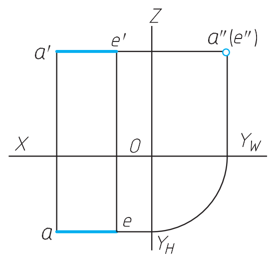


图 2-18　铅垂线的投影

其水平投影 ed 积聚成一点；正面投影 $e'd'$ 和侧面投影 $e''d''$ 均反映 ED 实长，且 $e'd' \perp OX$ 轴，$e''d'' \perp OY_W$ 轴。

正垂线和侧垂线也有类似的投影性质，见表 2-2。

表 2-2　投影面垂直线的投影特性

名称	正垂线（⊥V 面）	铅垂线（⊥H 面）	侧垂线（⊥W 面）
实例			
直观图			
投影图			
投影特征	1. $a'g'$ 积聚成一点 2. $ag \perp OX, a''g'' \perp OZ$ 3. $a''g'' = ag = AG$	1. ed 积聚成一点 2. $e'd' \perp OX, e''d'' \perp OY_W$ 3. $e'd' = e''d'' = ED$	1. $a''e''$ 积聚成一点 2. $a'e' \perp OZ, ae \perp OY_H$ 3. $a'e' = ae = AE$

由此可归纳出投影面垂直线的投影特性：

1）直线在所垂直的投影面上的投影积聚成一点。

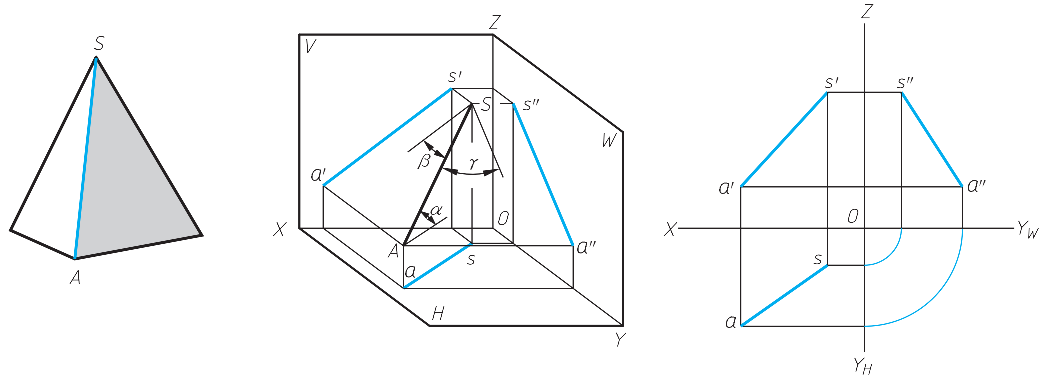
2）直线的其余两个投影均反映线段的实长，且垂直于相应的投影轴。

3. 一般位置直线

与三个投影面均倾斜的直线，称为一般位置直线。

图 2-19 中，SA 为立体上一条直线，它与 H、V 及 W 面都倾斜，其倾角分别为 α、β 和 γ，属于一般位置直线，如图 2-19b 所示。由于 $sa = SA\cos\alpha$，$s'a' = SA\cos\beta$，$s''a'' = SA\cos\gamma$，所以三个投影均小于 SA 的实长。

由此得出一般位置直线的投影特性为：



a)　　b)　　c)

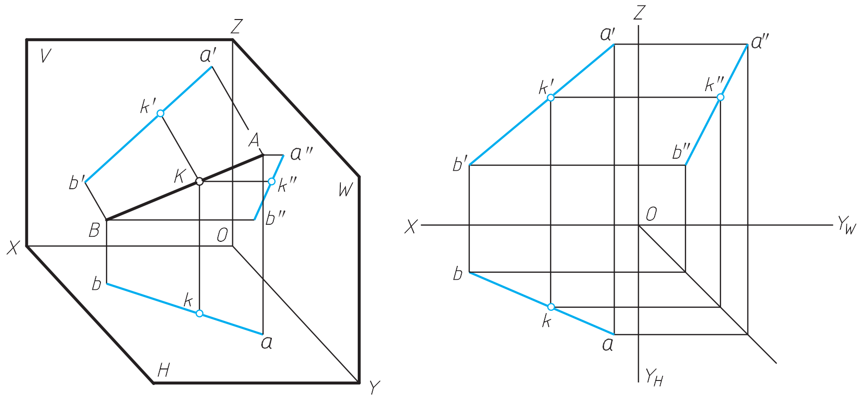
图 2-19　一般位置直线投影

1）直线三个投影均与投影轴倾斜，且小于实长。

2）直线各投影与投影轴的夹角不反映空间直线与投影面的倾角。

2.4.3　点、直线从属关系

如图 2-20 所示，点 K 属于直线 AB。由点 K 向 H 面作投射线 Kk，必属于平面 $ABba$，它与 H 面的交点 k（垂足）也必属于平面 $ABba$ 与 H 面的交线。即点 K 的水平投影 k 必属于 AB 直线的水平投影 ab。同理，k'属于 $a'b'$，k''属于 $a''b''$。又投射线 $Aa /\!/ Kk /\!/ Bb$，$Aa' /\!/ Kk' /\!/ Bb'$，$Aa'' /\!/ Kk'' /\!/ Bb''$，所以 $AK : KB = ak : kb = a'k' : k'b' = a''k'' : k''b''$。



a)　　b)

图 2-20　属于直线的点的投影

由此得出属于直线的点的投影特性为：点属于直线，则点的投影必属于直线的同面投影，并且点分线段之比等于其投影之比。

例 2-2　试判定点 C 是否属于直线 AB，如图 2-21 所示。

分析与作图　因为只有点的各投影属于直线的同面投影时，该点才属于此直线。而图 2-21 中，点 C 的水平投影 c 虽然在 ab 上，但点 C 的正面投影 c'不属于 $a'b'$，所以断定点 C 不属于直线 AB。

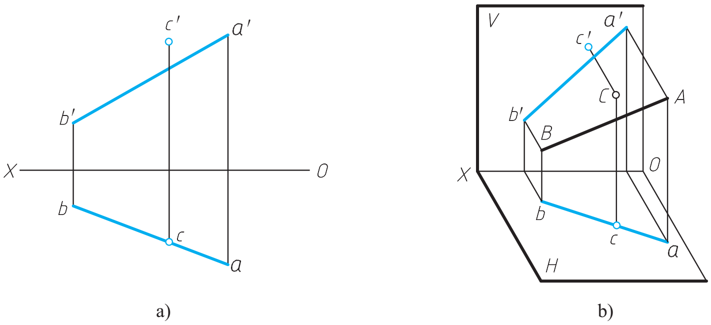


图 2-21　点是否属于直线

图 2-21b 所示为其空间情况。

例 2-3　已知属于直线 *AB* 的点 *C* 的水平投影 *c*，求作点 *C* 的正面投影 *c*′，如图 2-22 所示。

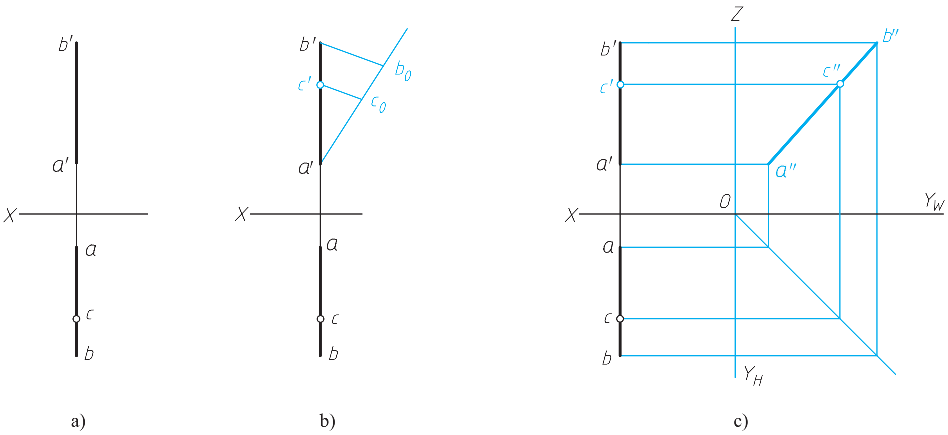


图 2-22　求属于直线 *AB* 上点 *C* 的正面投影

分析与作图　由直线 *AB* 的两个投影，知 *AB* 为一侧平线，所以点 *C* 的正面投影 *c*′不能由 *c* 作投影连线直接得到。本题可用下述方法解之。

解法一　运用点分线段之比等于其投影之比。过 *a*′任引一条射线，在其上截取 $a'c_0=ac$，$c_0b_0=cb$，连接 b_0b'，过 c_0 作 b_0b'的平行线交 *a*′*b*′于点 *c*′，则 *c*′即为所求，如图 2-22b 所示。

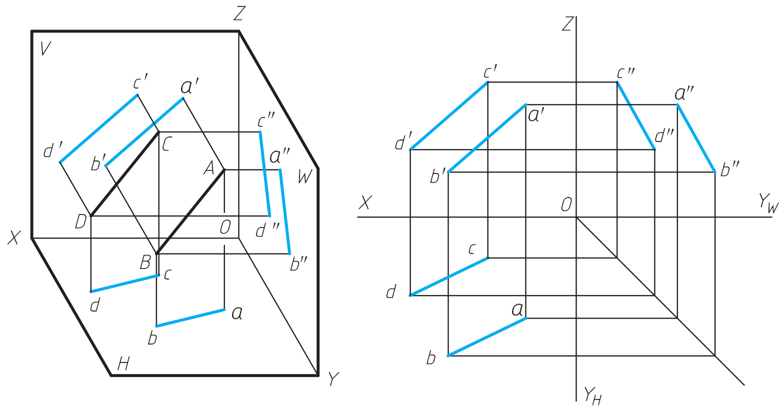
解法二　利用第三投影 *a*″*b*″，先由 *c* 求出 *c*″，再由 *c*″求出 *c*′，如图 2-22c 所示。

2.4.4　两直线的相对位置及其投影特性

两直线在空间相对位置有平行、相交和交叉（异面）三种情况。下面讨论其投影特性。

1. 平行两直线

如图 2-23a 所示为两条平行直线 *AB*、*CD* 在三投影面体系中的投影直观图，根据两平行平面（如 *ABba*∥*CDdc*）与第三个平面（*H* 面）相交，其交线必然平行，可知 *ab*∥*cd*。同理 *a*′*b*′∥*c*′*d*′，*a*″*b*″∥*c*″*d*″。由此可得出：空间两直线互相平行，它们的同面投影一定平行；反之，两直线的各同面投影平行，则此两直线在空间必然平行。其投影图如图 2-23b 所示。



a)　　b)

图 2-23　平行两直线的投影

如图 2-24 所示，直线 AB 与 CD 不平行。一般情况下，只要有两组同面投影互相平行，即可判定两直线在空间是互相平行的。但当空间两直线同时是某个投影面的平行线时，则要看它们在所平行的那个投影面上的投影是否平行，才能判断其是否平行。

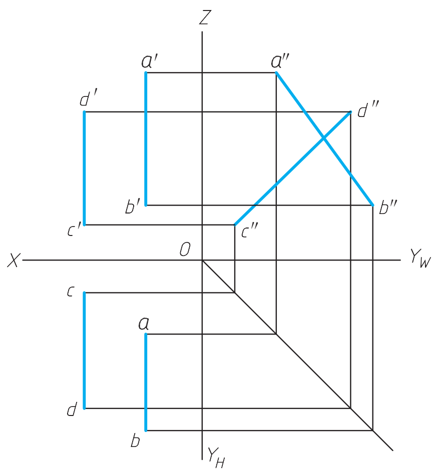
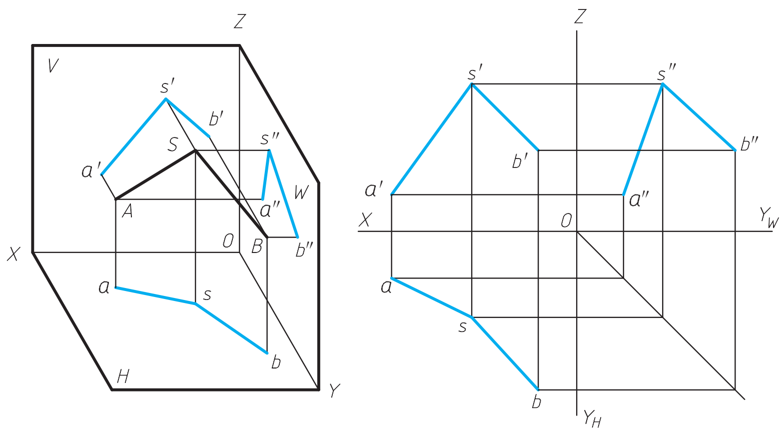


图 2-24　两直线不平行

2. 相交两直线

如图 2-25a 所示为两相交直线 SA、SB 在三投影面体系中的投影图。由于点 S 是两直线的交点，为两者之共有点。根据属于直线的点的投影性质，则点 S 的正面投影 s'为 $s'a'$和 $s'b'$的交点，同理 sa 和 sb 的交点 s 及 $s''a''$和 $s''b''$的交点 s''，分别为交点 S 的水平投影和侧面投影。由此可得出：空间相交两直线，其同面投影必相交，且交点符合点的投影规律。反之，若两直线的同面投影均相交，且交点同属于两直线，则它们在空间也一定是相交的。



a)　　b)

图 2-25　相交两直线的投影

3. 交叉两直线

两直线在空间既不平行也不相交，称为交叉两直线。

图 2-26a 所示为两交叉直线 *AB*、*CD* 在两投影面体系中的投影情况，*AB*、*CD* 的两面投影都相交，但其交点是分别属于两交叉直线的重影点Ⅰ、Ⅲ和Ⅱ、Ⅳ的投影，由于投影的交点并不是空间同一点的投影，所以不符合点的投影规律，即投影交点的连线不垂直于 *OX* 轴。对于重影点，须判别可见性，交叉两直线重影点可见性的判别方法，是以后判别重影的各类图形可见性的基础。

综上所述，可得到交叉两直线的投影特性：其同面投影可能有一组（图 2-24）、两组（图 2-26b）或三组（图 2-26c）相交，但各组投影的交点不符合点的投影规律；其同面投影也可能出现一组或两组同面投影相互平行（图 2-24），但不可能三组同面投影都平行。

交叉两直线在投影图上的交点，是两条直线上不同点的重影。如图 2-26a 所示交叉两直线，其水平投影 *ab* 和 *cd* 交于一点 1（3），即为交叉两直线对 *H* 面的一对重影点Ⅰ、Ⅲ的水平投影。点Ⅰ属于直线 *AB*，点Ⅲ属于直线 *CD*，由于点Ⅰ在点Ⅲ的上方（$Z_{Ⅰ}>Z_{Ⅲ}$），故可判定直线 *AB* 上的点Ⅰ为可见点，而直线 *CD* 上的点Ⅲ是不可见点。同样，利用两直线正面的重影点 4′（2′），可判定直线 *AB* 上的点Ⅳ可见，而直线 *CD* 上的点Ⅱ不可见（$Y_{Ⅳ}>Y_{Ⅱ}$）。

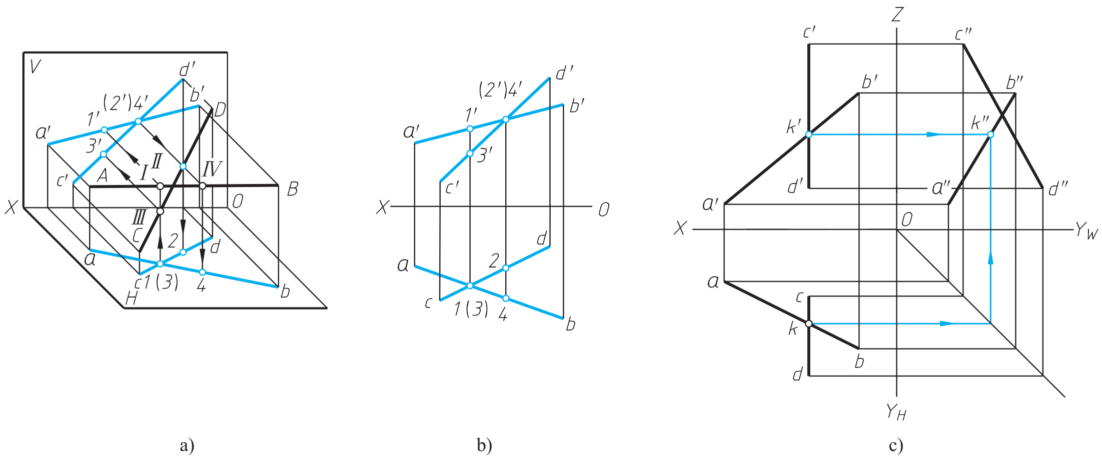


图 2-26　交叉两直线的投影

2.5　平面的投影

2.5.1　平面的投影表示法

1. 用几何元素的投影表示平面

在几何学里，平面可由几何元素点、直线组合来表示，相应地在投影图中也可用它们的投影来表示，如不属于一直线的三点的投影、一直线和不属于此直线一点的投影、两平行线或两相交直线的投影、平面图形的投影等，如图 2-27 所示。这些表示法是可以互相转化的。

2. 用迹线表示平面

平面与投影面的交线称为平面迹线，平面 *P* 与 *V* 面的交线称为正面迹线，用 P_V 表示；

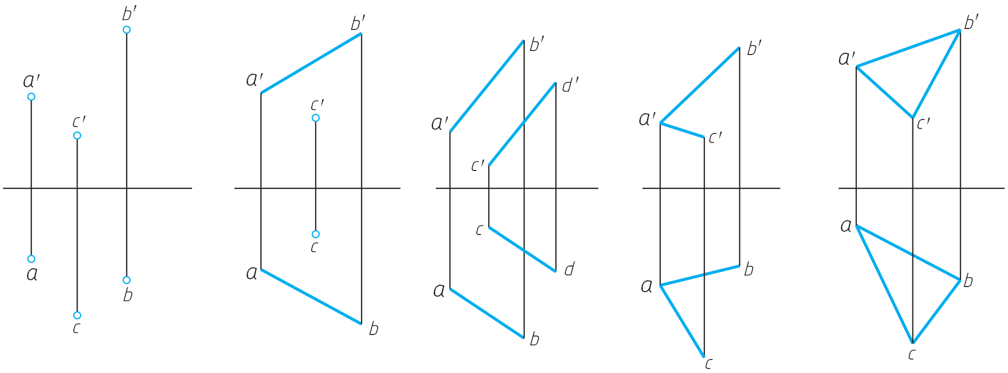


图 2-27 用几何元素表示平面

平面 P 与 H 面的交线称为水平迹线，用 P_H 表示；平面 P 与 W 面的交线称为侧面迹线，用 P_W 表示，如图 2-28 所示。每条平面迹线只需画出一个投影，其重合于投影轴的投影不必画出。因此，用迹线表示平面和用两条相交直线表示平面实质上是一样的。

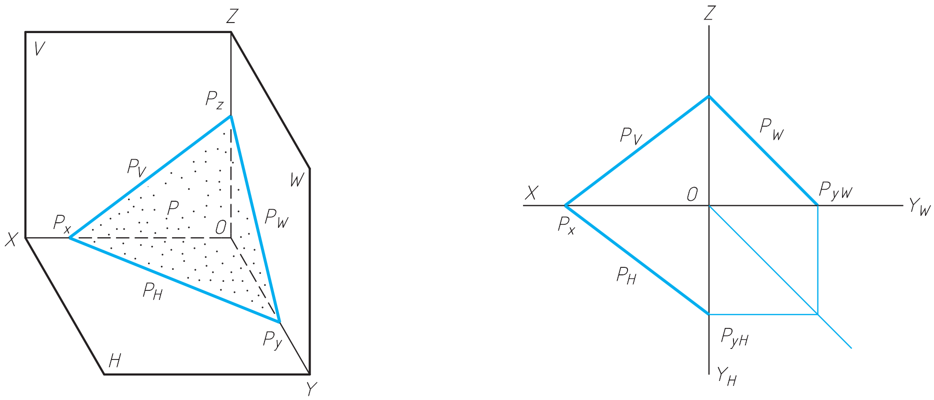


图 2-28 用迹线表示平面

2.5.2 各种位置的平面及其投影特性

平面相对投影面的位置可分为三类，即投影面平行面、投影面垂直面、一般位置平面。前两类称为特殊位置平面，下面分别讨论它们的投影特性。

1. 投影面平行面

与一个投影面平行（与另外两个投影面垂直）的平面，称为投影面平行面，简称平行面。平行于 H 面的平面，称为水平面；平行于 V 面的平面，称为正平面；平行于 W 面的平面，称为侧平面。

如图 2-29 所示，多边形 $ABCDE$ 为一正平面，所以其正面投影 $a'b'c'd'e'$ 反映出真实形状。由于平面 $ABCDE$ 垂直于 H 面和 W 面，所以其水平投影和侧面投影均积聚成一直线，并分别平行于 OX 轴和 OZ 轴。水平面和侧平面也有类似的性质，见表 2-3。

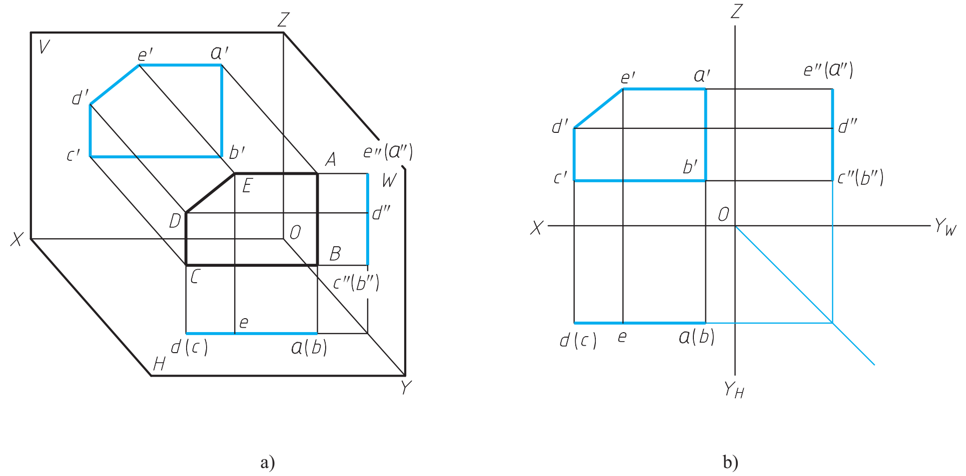
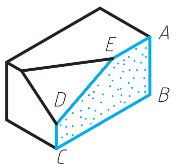
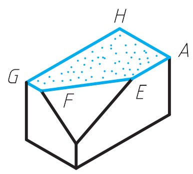
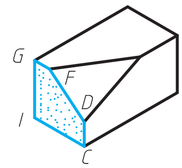
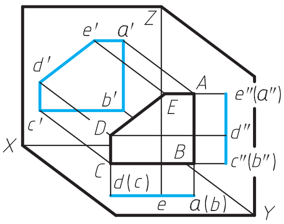
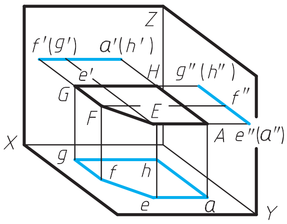
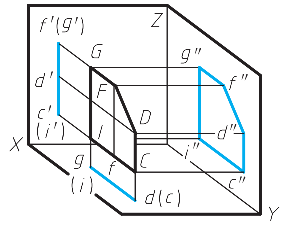
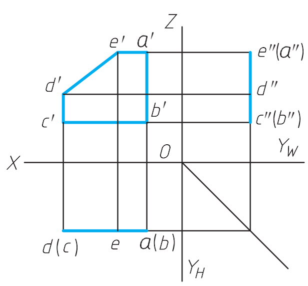
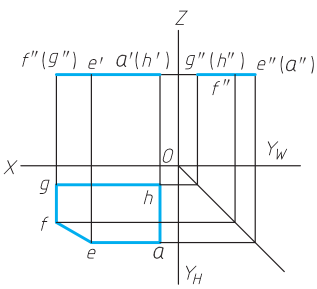
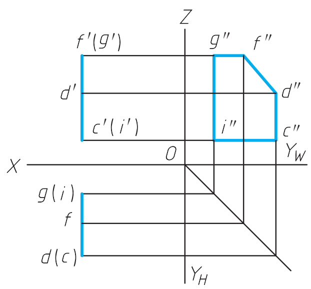


图 2-29 正平面的投影

表 2-3 投影面平行面的投影特性

名称	正平面（//V 面）	水平面（//H 面）	侧平面（//W 面）
实例			
直观图			
投影图			
投影特性	1. $a'b'c'd'e'=ABCDE$ 2. H 面、W 面投影积聚成平行于 OX 轴和 OZ 轴的直线	1. $aefgh=AEFGH$ 2. V 面、W 面投影积聚成平行于 OX 轴和 OY_W 轴的直线	1. $c''d''f''g''i''=CDFGI$ 2. V 面、H 面投影积聚成平行于 OZ 轴和 OY_H 轴的直线

平行面的投影特性，可归纳为：

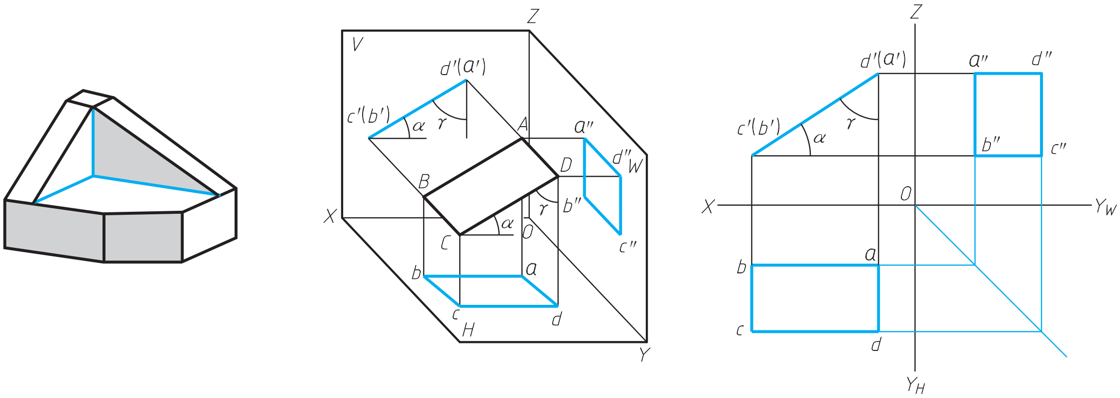
1）在平面所平行的投影面上的投影反映平面图形的实形。

2）另外两投影积聚成直线，且平行于相应的投影轴。

2. 投影面垂直面

垂直于一个投影面与其他两个投影面倾斜的平面，称为投影面垂直面，简称垂直面。垂直面也分为三种：垂直于 *V* 面的平面，称为正垂面；垂直于 *H* 面的平面，称为铅垂面；垂直于 *W* 面的平面，称为侧垂面。

图 2-30 所示为一正垂面的投影图。四边形 *ABCD* 垂直于 *V* 面，故其正面投影 $a'b'c'd'$ 积聚成一直线，它与 *OX* 轴和 *OZ* 轴的夹角，分别为此平面与 *H* 面和 *W* 面的倾角 α 及 γ。因平面 *ABCD* 与 *H* 面和 *W* 面都倾斜，所以其水平投影 *abcd* 和侧面投影 $a''b''c''d''$ 均为小于实形的类似形。

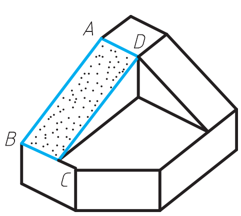
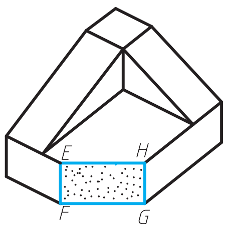
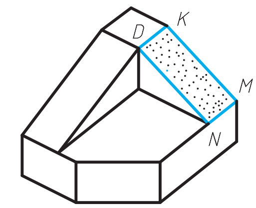
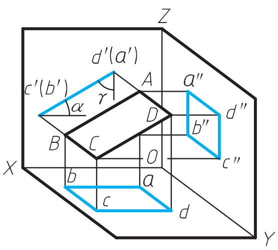
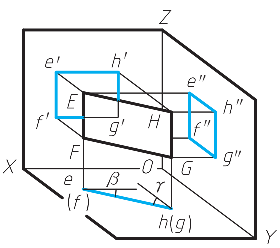
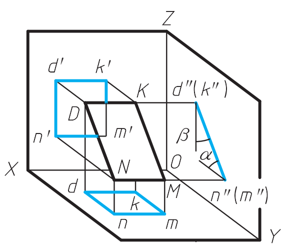


a)　　b)　　c)

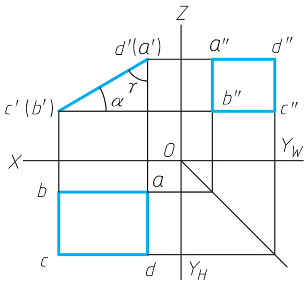
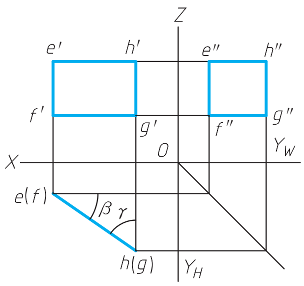
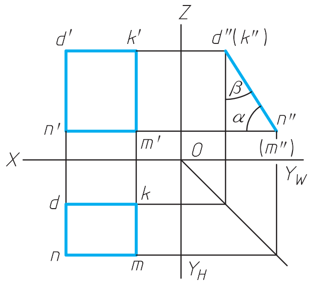
图 2-30　正垂面的投影

表 2-4 中列出了三种垂直面的投影图及其投影特性。

表 2-4　投影面垂直面的投影特性

名称	正垂面	铅垂面	侧垂面
实例			
直观图			

（续）

名称	正垂面	铅垂面	侧垂面
投影图			
投影特性	1. *V* 面投影积聚成一直线，它与 *OX*、*OZ* 轴夹角为平面与 *H* 面、*W* 面的倾角 α、γ 2. *H* 面、*W* 面投影为小于实形的类似形	1. *H* 面投影积聚成一直线，它与 *OX*、*OY* 轴夹角为平面与 *V* 面、*W* 面的倾角 β、γ 2. *V* 面、*W* 面投影为小于实形的类似形	1. *W* 面投影积聚成一直线，它与 *OZ*、*OY* 轴夹角为平面与 *V* 面、*H* 面的倾角 β、α 2. *V* 面、*H* 面投影为小于实形的类似形

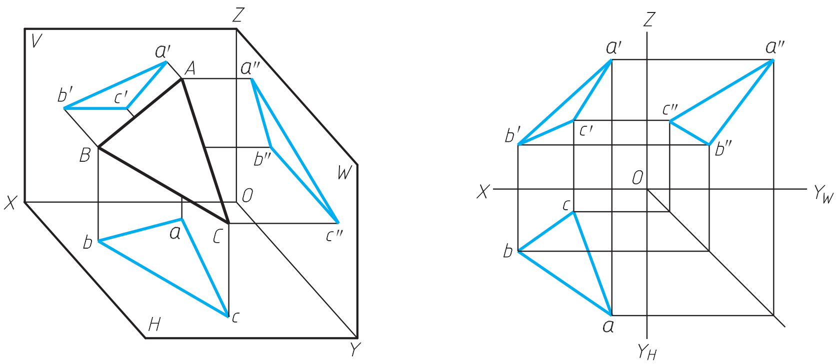
垂直面的投影特性为：

1）在平面所垂直的投影面上的投影积聚成一斜线，它与投影轴的夹角分别反映该平面与相应的投影面的夹角。

2）另外两个投影为小于实形的类似形。

3. 一般位置平面

与三个投影面都倾斜的平面，称为一般位置平面，如图 2-31 所示，△*ABC* 与三个投影面都倾斜，它的三个投影均不能反映△*ABC* 实形，也不会积聚为直线，而是三个小于△*ABC* 实形的类似形。



a)　　　b)

图 2-31　一般位置平面的投影

2.5.3　用迹线表示特殊位置平面

垂直面和平行面的投影，总有一个或两个积聚为直线，如图 2-32a、b 所示为水平面和铅垂面的直观图，将平面延伸扩大，它们与投影面的交线——迹线，必与相应的具有积聚性的投影重合。所以，特殊位置平面又可以用迹线来表示。图 2-32c 所示为水平面 *P* 的迹线表

示法，它的正面迹线 P_V 和侧面迹线 P_W 代表具有积聚性平面的投影。图 2-32d 所示为铅垂面 Q 的迹线表示法，其水平迹线 Q_H 代表具有积聚性平面的水平投影。为了简化，图 2-32c、d 也可以表示成图 2-32e、f 的形式。

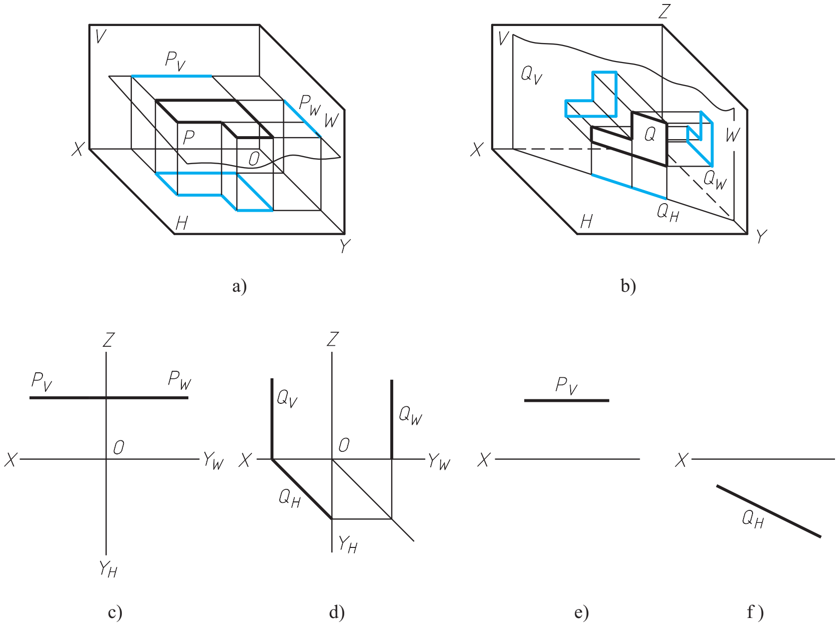


图 2-32　特殊位置平面迹线的表示

2.5.4　属于平面的点、直线和圆

如何确定属于给定平面的点和直线，是重要的基本作图问题。

1. 点和直线属于平面的几何条件

1）若点属于某平面的一条直线，则此点必属于该平面，如图 2-33a 所示。

2）若直线通过属于平面的两个点，则此直线必属于该平面，如图 2-33b 所示。

3）若直线通过属于平面的一个点，且平行于属于平面的一条直线，则此直线必属于该平面，如图 2-34c 所示。

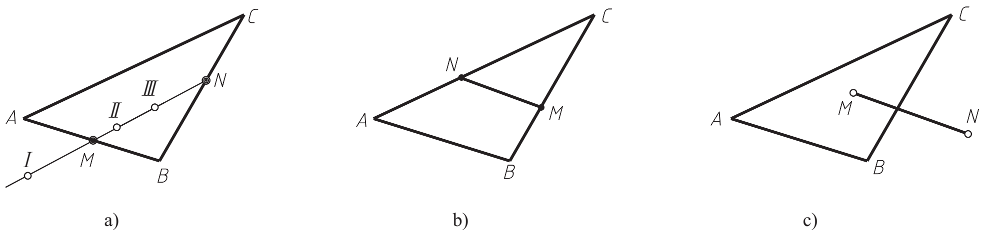


图 2-33　点、直线属于平面的几何条件

2. 属于平面的点、直线作图举例

例 2-4　已知属于平面 ABC 的一点 M 的正面投影 m'，试补画出其水平投影；判断点 N 是否属于平面 ABC，如图 2-34 所示。

分析　点属于平面，则点必属于平面的一条直线，点属于直线，点的投影必属于直线的同面投影。

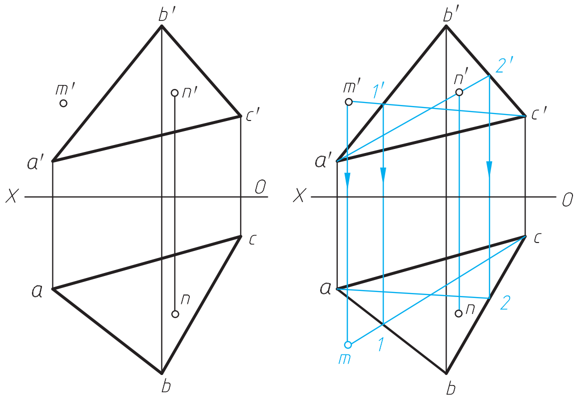
作图　如图 2-34 所示。

1）在平面 ABC 的正面投影上，过 m'作一直线 CM 的正面投影 $c'm'$交 $a'b'$于 $1'$。

2）由 $1'$向下作投射线交 ab 于 1，连接 $c1$，即为直线 $c\mathrm{I}$ 的水平投影。

3）由 m'向下作投射线交 $c1$ 的延长线于 m，即为所求。

同理，在平面 ABC 内作直线 AⅡ，使其正面投影 $a'2'$通过 n'，求出 AⅡ的水平投影 $a2$，由于 n 不属于 $a2$，所以点 N 不属于平面 ABC。

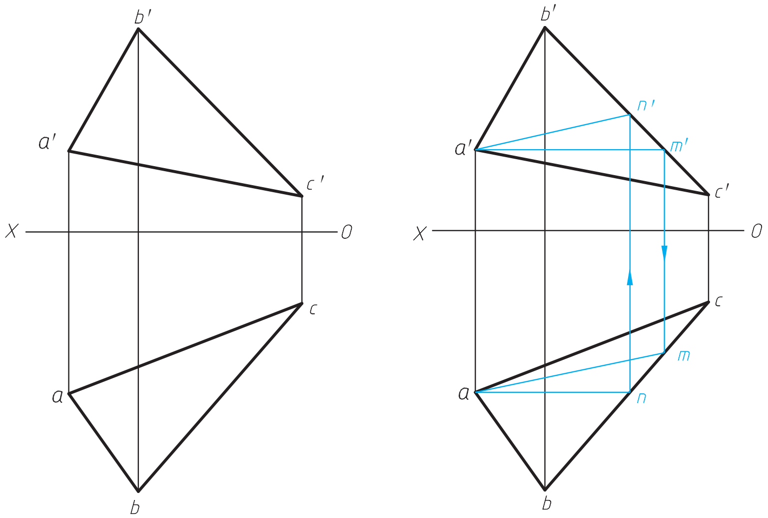


a)　　b)

图 2-34　补画属于平面的点的投影及判断点面从属关系

例 2-5　过平面 ABC 的点 A 作属于此平面的水平线和正平线，如图 2-35a 所示。

分析　根据平行线的投影特性，水平线的正面投影和正平线的水平投影必平行于 OX 轴，而要作属于平面的直线，必须使之通过属于平面的两个点。要作的直线均通过一个已知点，再各求一点即可。



a)　　b)

图 2-35　作属于平面的水平线和正平线

作图　如图 2-35 所示

1）过 a'作 $a'm'$∥OX 轴，与 $b'c'$交于 m'，$M \in BC$。在 bc 上求出 m，连接 am；AM（$a'm'$,am）即为所求的水平线。

2）过 a 作 an∥OX 轴，与 bc 交于 n，$N \in BC$。在 $b'c'$上求出 n'，连接 $a'n'$；AN（an，$a'n'$）即为所求的正平线。

例 2-6 求作带缺口 *EFGH* 的平行四边形 *ABCD* 的水平投影（图 2-36a）。

分析 运用点、直线和平面的从属几何条件及平行两直线的投影特性即可完成作图。

作图 如图 2-36 所示。

1）作出平行四边形 *ABCD* 的水平投影 *abcd*。又由于 *e′*、*h′*在 *a′d′*上，所以 *e*、*h* 在 *ad* 上，如图 2-36b 所示。

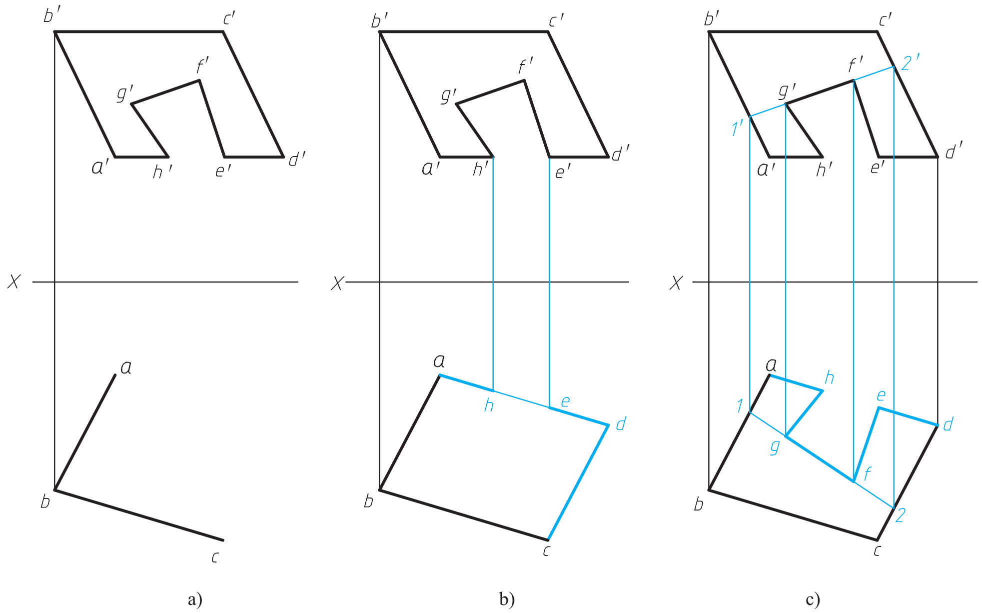


图 2-36 补平面图形的水平投影

2）延长 *f′g′*交 *a′b′*于 1′，交 *c′d′*于 2′，在 *ab* 上求出点 1，在 *cd* 上求出点 2，连接 12。由于 *f′*、*g′*在 1′2′上，所以 *f*、*g* 在 12 上。

3）顺次连接 *efgh*，即得带缺口的平行四边形 *ABCD* 的水平投影（图 2-36c）。

3. 属于平面的圆

（1）属于平行面的圆的投影 如图 2-37 所示，圆属于正平面 *P*，所以圆的正面投影反映实形，水平投影积聚成一条长度等于直径的线段 *ab*，且平行于 *OX* 轴。

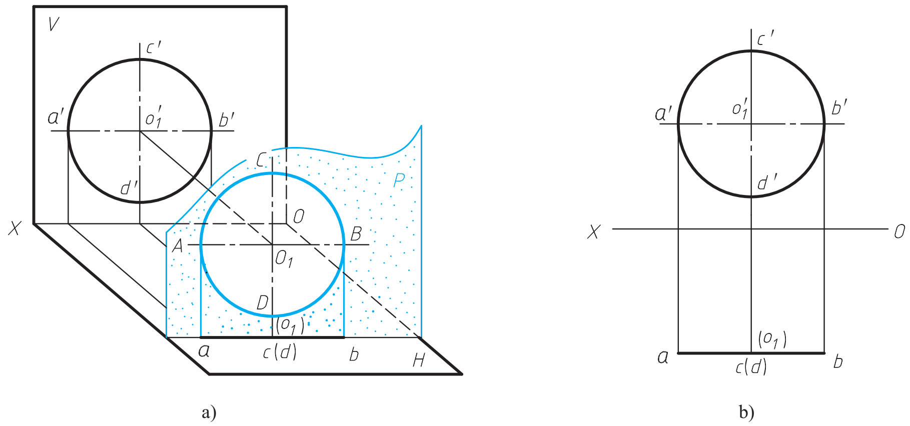
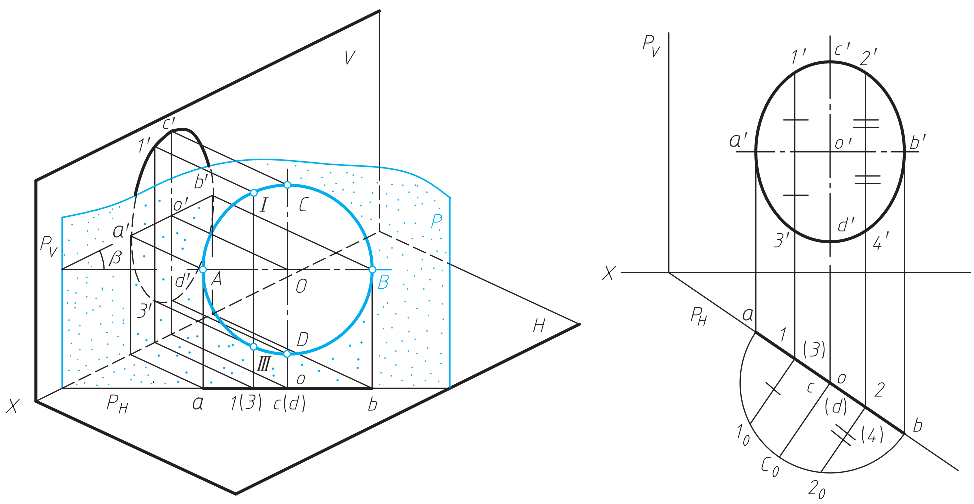


图 2-37 属于平行面的圆的投影

（2）属于垂直面的圆的投影　如图 2-38 所示，圆属于铅垂面 P，其水平投影线段的长度等于圆的直径，即 $ab=AB$。正面投影为一椭圆，其长轴 $c'd'$为过圆心 O 平行 V 面（垂直于 H 面）的直径 CD 的投影，短轴 $a'b'$为与 CD 垂直的水平直径 AB 的投影（其长度等 $ab\cos\beta$）。作一系列与 CD 平行的弦，弦的正面投影都反映实长，这样可得出椭圆上一系列点。如图 2-38b 所示，在水平投影上以 O 为圆心，ab 为直径作半圆，在 ab 上取若干点（如 1、2、3、4），过这些点作线垂直于 ab 交圆于 $1_0 2_0$，则 $1_0 1$、$2_0 2$ 均为相应弦长的一半，再在相应弦的正面投影上截取各弦长，依次得 1′、2′、3′、4′等各点，依次光滑连接各点即得圆的正面投影。



a)　　　　　　b)

图 2-38　属于垂直面的圆的投影

2.6　直线与平面的相对位置

直线与平面、平面与平面的相对位置有平行和相交两种。垂直是相交的一种特殊情况。

2.6.1　平行

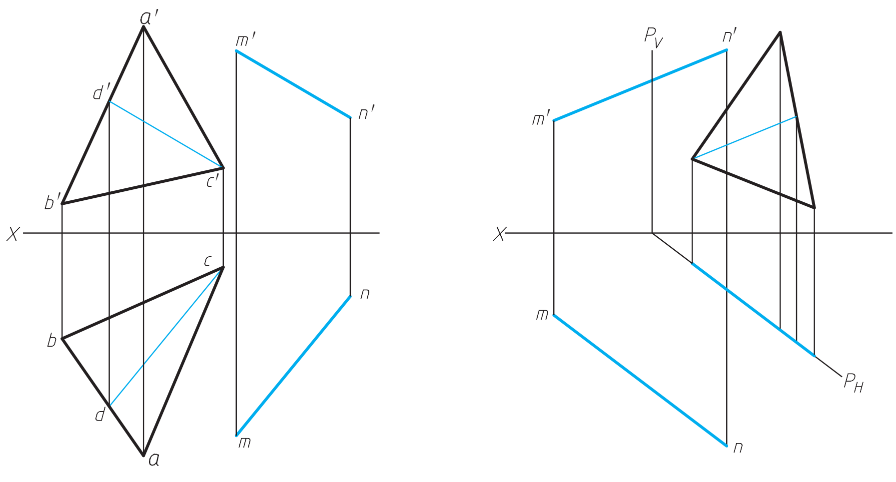
1. 直线与平面平行

由几何定理可知，若平面外一直线 MN 与从属平面内的一条直线 CD 平行，则此直线与该平面平行，如图 2-39a 所示；反之，若一直线与平面平行，则在平面内可作无数条直线与该直线平行。当平面 P 为用迹线表示的特殊位置平面时，若直线 MN 的投影与平面迹线的同面投影平行，则此直线与平面平行，如图 2-39b 所示。

2. 平面与平面平行

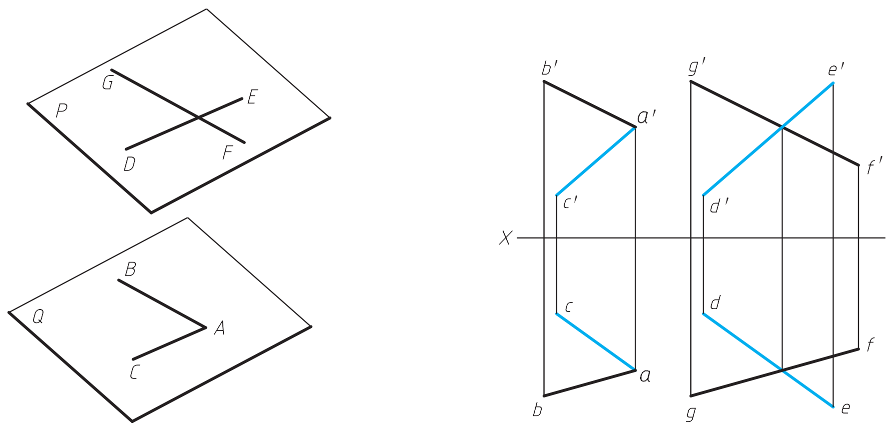
由几何定理可知，若属于平面的两条相交直线都平行于另一平面，则此两平面相互平行。如图 2-40 所示，属于平面 P 的两条相交直线对应平行于属于平面 Q 的相交两直线，即 $AB /\!/ FG$、$AC /\!/ DE$，所以平面 P 平行于平面 Q。

图 2-41 所示为两个铅垂面 ABC 和 DEF。P_H、P_V 与 Q_H、Q_V 实质上是 P、Q 两平面内的



a)　　　　b)

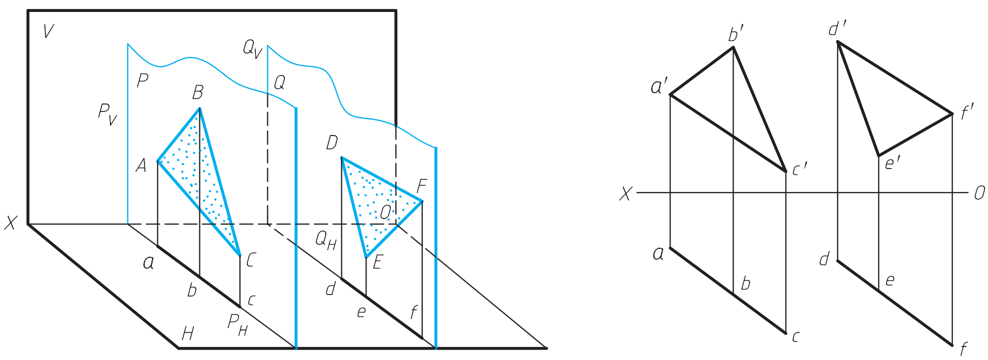
图 2-39　直线与平面平行



a)　　　　b)

图 2-40　两平面平行

两对相交直线，由于 $P_H // Q_H$，$P_V // Q_V$，即相交两直线对应平行，故 $P // Q$。



a)　　　　b)

图 2-41　两铅垂面相互平行

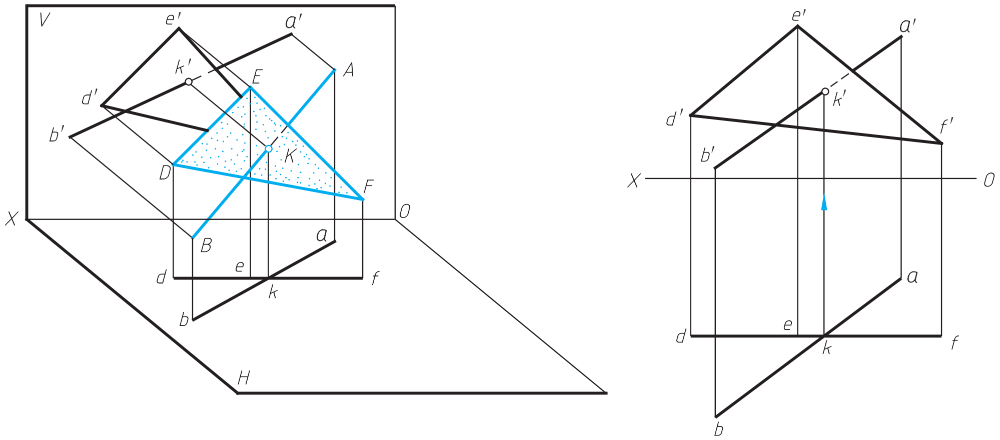
2.6.2　相交

直线与平面相交，平面与平面相交，其交点、交线为两者所共有。这种共性是求作交点和交线的依据。

1. 直线与平面相交

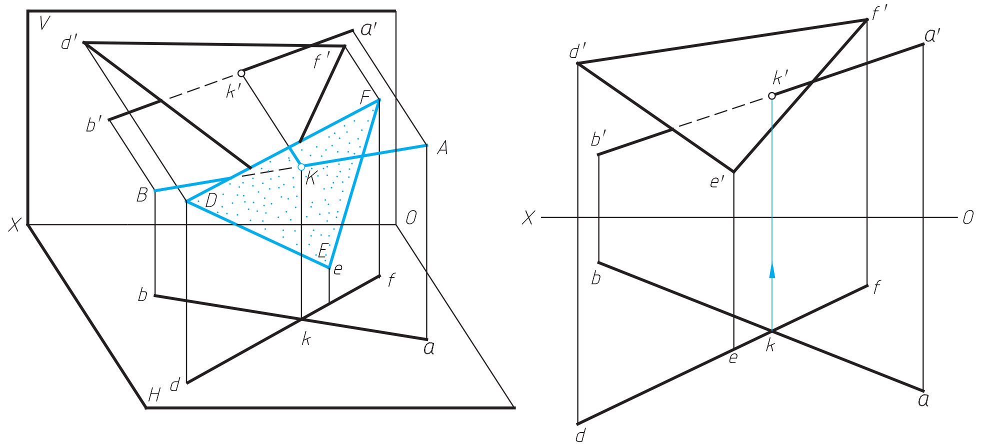
如图 2-42、图 2-43 所示分别为一般位置直线与正平面和铅垂面相交求交点 K 的作图情况。根据交点的共有性和平面的积聚性，可知交点的一个投影，再由点和直线的从属关系，可求交点的另一投影。

交点求出后，还要判别可见性。在正面投影图上，以交点 K 为界，直线处于正平面和铅垂面前面的一段为可见，画成粗实线，而平面后面的一段被平面遮挡，其投影不可见，须画成虚线。



a)　　　　　　b)

图 2-42　直线与正平面相交



a)　　　　　　b)

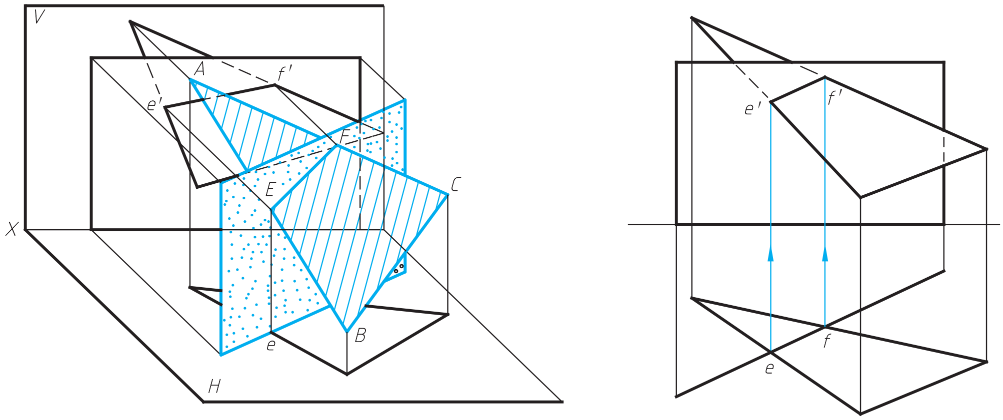
图 2-43　直线与铅垂面相交

2. 平面与平面相交

如图 2-44a 所示为一般位置平面与铅垂面相交的情况。两平面的交线为其共有线。其作

图过程如图 2-44b 所示，即求出平面△ABC 与铅垂面的两个交点 E、F，然后连线，即得到两平面的交线。

求出交线以后，还需判别正面投影的可见性。两平面的交线是可见的，以交线为界，△ABC 处于铅垂面前面的部分是可见的，应画成粗实线；而处于铅垂面后面的部分则不可见，应画成虚线。



a)　　　　b)

图 2-44　一般位置平面与铅垂面相交

第 3 章

立　　体

3.1　平面立体的投影

表面由平面组成的立体，称为平面立体，如棱柱、棱锥及棱台等，如图 3-1 所示。画平面立体的投影实质是画它们的顶点、棱线及棱面的投影。根据立体相对投影面所处的位置，判别各棱线和各棱面的可见性，把不可见的棱线画成细虚线。

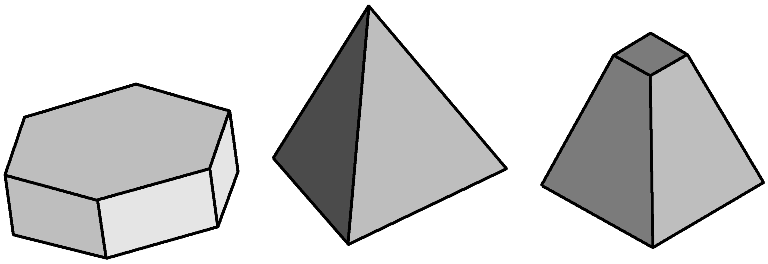


图 3-1　平面立体

3.1.1　棱柱的投影及其表面上取点

1. 棱柱的投影

棱柱由棱面及上、下底面组成，其棱线相互平行。如图 3-2a 所示为六棱柱，它由 8 个平面组成：上、下底面为水平面；6 个棱面中前、后两个面为正平面，其余 4 个均为铅垂面。立体共有 18 根棱线：6 根棱线为铅垂线；上、下底面各边中，*CE* 等 4 条边为侧垂线；*AC*、*BD* 等 8 条边为水平线。立体前后对称，左右对称。

由此根据各种直线、平面的投影特性，即可画出六棱柱的三面投影图。如图 3-2b 所示，其画法如下：

1）画出六棱柱对称中心线的正面投影和侧面投影，并画出六棱柱水平投影的对称中心线。

2）画出上、下底面的水平投影（正六边形）后，再画其余的两个投影。

3）连接上、下底面对应的顶点，即得正六棱柱的三面投影图。

2. 棱柱表面上取点

棱柱表面的点可根据其所属棱面，按点、面从属关系求出。设点 M、N 属于六棱柱表面，已知 M 点正面投影 m'，N 点水平投影 n，如图 3-3a 所示，求其余两投影。

由于点 M 的正面投影可见，所以点 M 属于铅垂面 $ABCD$，根据此面水平投影具有积聚性，由 m'向下作投射线，即得 m。再根据点的投影规律，求出侧面投影 m''。

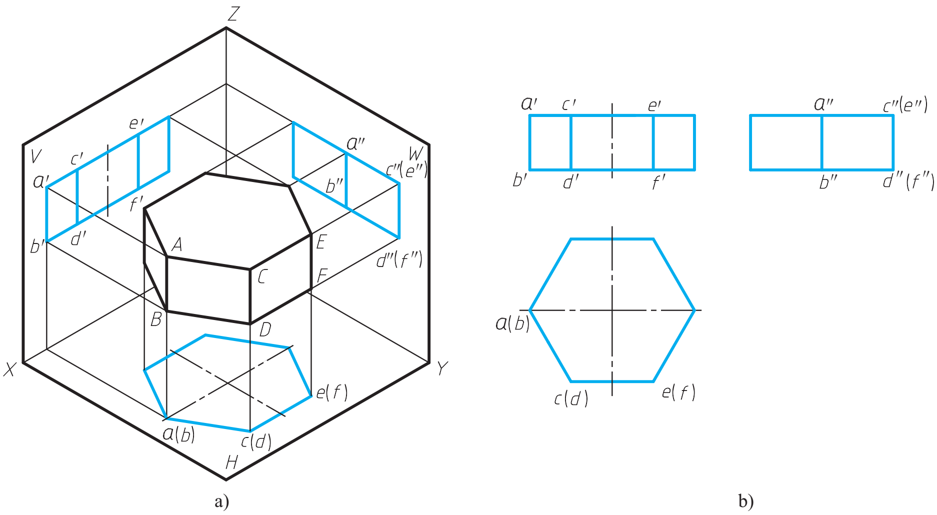


图 3-2　正六棱柱的三面投影

由于点 N 的水平投影可见，所以点 N 属于顶面，由于顶面的正面投影和侧面投影具有积聚性，则由 n 向上作垂线可求出 n'，再根据点的投影规律求得 n''，如图 3-3b 所示。

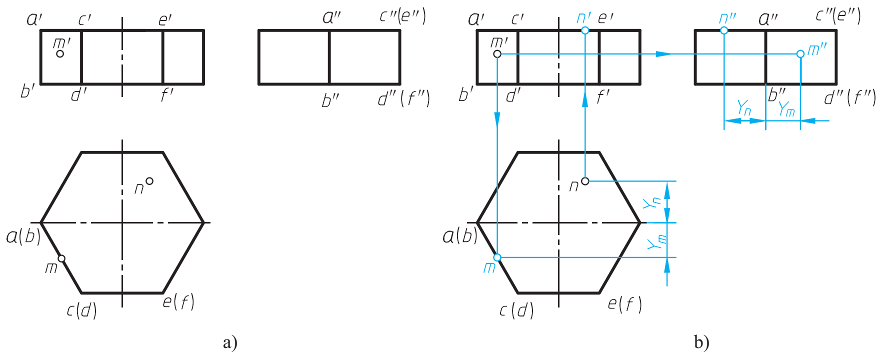


图 3-3　正六棱柱表面取点

3.1.2　棱锥的投影及其表面上取点

1. 棱锥的投影

底面为多边形，各棱面是有一个公共顶点的三角形组成的立体称为棱锥。如图 3-4a 所示为正三棱锥，其底面与 H 面平行，底面的水平投影反映实形，底面的正面投影和侧面投影为直线。三棱锥的三个棱面中，棱面△SAC 为侧垂面（因 $AC \perp W$ 面），在 W 面上的投影积聚成一直线 $s''a''$（c''），另外两个投影均为小于实形的类似形。其余两棱面△SAB、△SBC

为一般位置平面，它们的三个投影均为类似形。

棱线 SA、SC 为一般位置直线，SB 为侧平线。底边 AB、BC 为水平线，AC 为侧垂线。三棱锥的三面投影图如图 3-4b 所示，其画法如下：

1）画出棱锥顶点 S 及底面△ABC 的三面投影图。

2）连接锥顶与底面三角形各顶点的同面投影，即得正三棱锥的三面投影图。

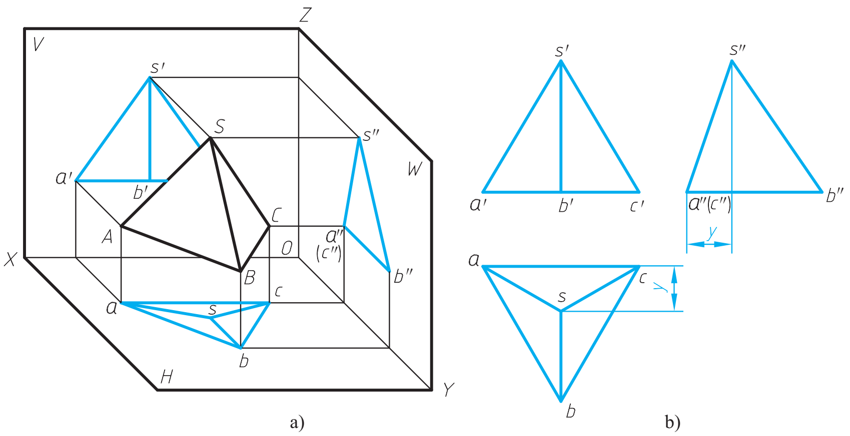


图 3-4　正三棱锥的三面投影

2. 棱锥表面上取点

已知正三棱锥表面上的点 M 的正面投影 m'，点 N 的水平投影 n，求其余两个投影，如图 3-5a 所示。

由于点 M 的正面投影 m'是可见的，可知 M 点属于△SAB 棱面，而△SAB 是一般位置平面，对于一般位置平面内作点，则要利用辅助线法。

为此，可在△SAB 面内过点 M 作直线 S Ⅰ，如图 3-5b 所示，先过 m'作 $s'1'$，再求直线 S Ⅰ 的其余投影 $s1$ 和 $s''1''$。根据点、线从属的投影性质，可求出 m 和 m''。

也可以作一平行于底边 AB 的辅助线 M Ⅱ，利用平行线的投影性质，求 $m''2''$和 $m2$，从而求出 m 和 m''，如图 3-5b 所示。

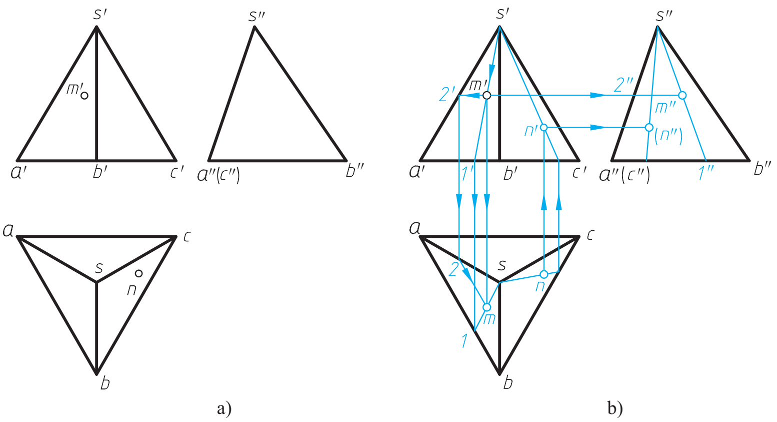


图 3-5　正三棱锥表面取点

通过分析可见，点 N 属于 $\triangle SBC$ 棱面，点 N 的正面投影 n' 和侧面投影 n'' 的求法同前，由于棱面 $\triangle SBC$ 侧面投影不可见，所以点 N 侧面投影为不可见，记为（n''），如图 3-5b 所示。

3.2 平面与平面立体相交

带缺口的平面立体，可视为完整的平面立体被平面切割形成的，如图 3-6 所示的立体。平面与平面立体相交，在立体表面产生的交线称为截交线。要正确画出它们的投影图，应先画出完整的平面立体的投影，根据切平面的位置，画出缺口具有积聚性的投影，运用表面作点、作线的原理，求出缺口的其他投影。下面举例说明作图方法。

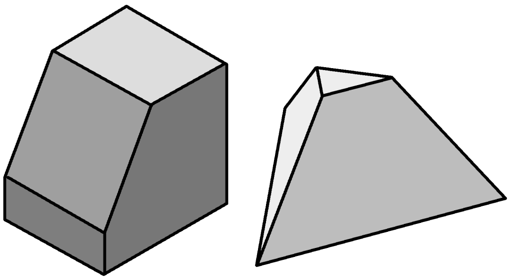


图 3-6 切割的平面立体

例 3-1 画出三棱锥被切割后的水平投影和侧面投影，如图 3-7a 所示。

分析 三棱锥被正垂面切割，其正面投影具有积聚性。欲作出切割后的水平投影和侧面投影，可根据直线与平面相交求交点的作图方法作出截交线的各投影。

作图 如图 3-7b 所示。

1）利用正面投影上垂直面的积聚性，确定正垂面与各棱线交点的正面投影 a'、b'、c'。

2）根据点和直线的从属关系，可求出交点的水平投影和侧面投影。

3）顺次连接交点各同面投影，截平面两投影均可见，画粗实线。

4）整理轮廓线，如图 3-7b 所示。

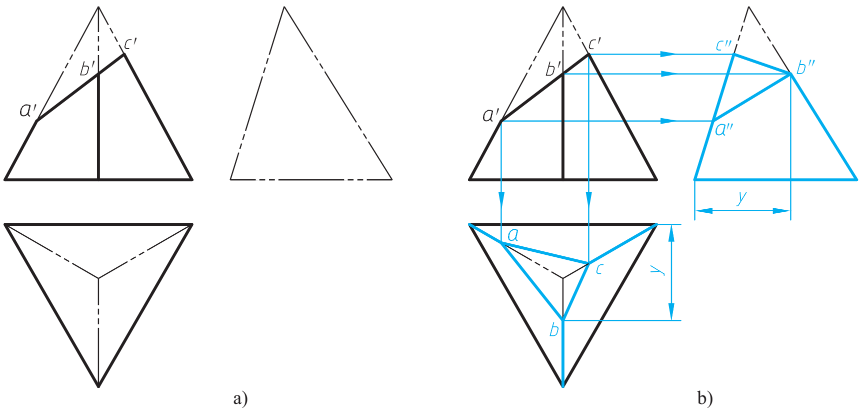


图 3-7 平面截切三棱锥

例 3-2 画顶部切口的五棱柱三面投影图，如图 3-8a 所示。

分析 顶部切口可看成由侧平面 P 和正垂面 Q 切割形成其正面投影具有积聚性。P 面的水平投影积聚为直线，侧面投影为四边形（空间实形），四边形的两个顶点 A、B 在顶面的棱边上，另外两个顶点 C、D 在立体表面上；Q 面的水平投影和侧面投影均为五边形（空

间类似形），*C*、*D* 在立体表面上，*E*、*F*、*G* 均在棱线上。

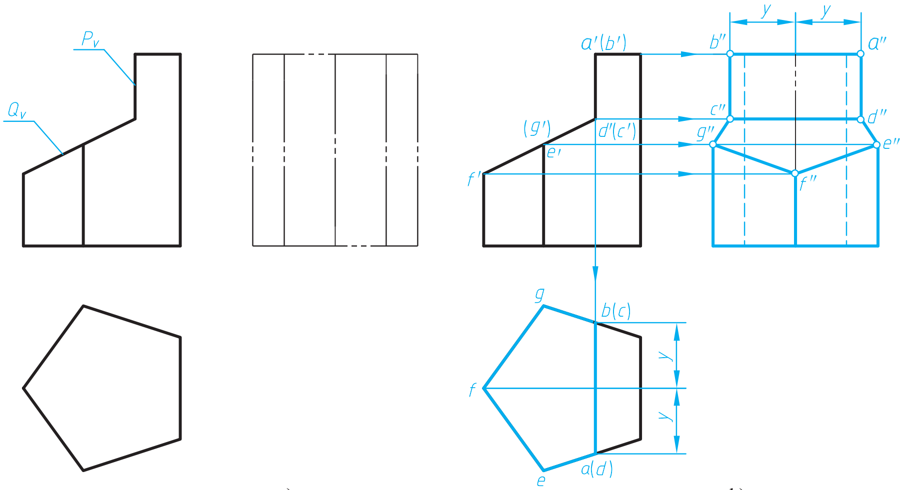
作图　如图 3-8b 所示。

1）在正面投影中确定 a'、b'、…、g'。

2）因 *A*、*B*、*E*、*F*、*G* 点在棱线上，根据线上作点的方法可直接求得各点的水平投影和侧面投影，*C*、*D* 两点所在立体表面的水平投影具有积聚性，求得水平投影 *c*、*d*，根据点的投影规律求得侧面投影 c''和 d''，如图 3-8b 所示。

3）画出截平面的投影，*ABCD* 的水平投影积聚为线段，侧面投影 $a''b''c''d''$为四边形，两个投影均可见，画粗实线；*CDEFG* 的水平投影和侧面投影都是五边形，亦全部可见，画粗实线。

4）整理轮廓，*E*、*F*、*G* 点上部的棱线被截掉，余下部分可见画粗实线，右侧两条棱线不可见画细虚线。如图 3-8b 所示。



a)　　　　b)

图 3-8　平面截切五棱柱

例 3-3　画顶部开槽的四棱台的三面投影，如图 3-9a 所示。

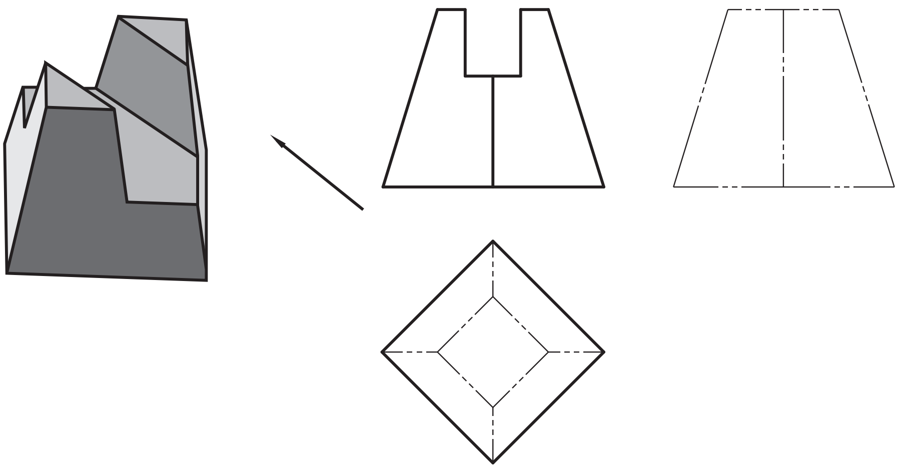
分析　以箭头方向为正面投影方向，四棱台上、下底为水平面，四个侧棱面均为一般位置平面。顶部槽是由两个侧平面和一个水平面切割形成的，其正面投影具有积聚性。由图 3-9a 可看出，开槽的三个面与四棱台表面交线的十个端点中，Ⅰ、Ⅳ、Ⅴ、Ⅷ是在四棱台上底面边线上，Ⅸ、Ⅹ在前后棱线上，其余四点分别在四个侧棱面上。

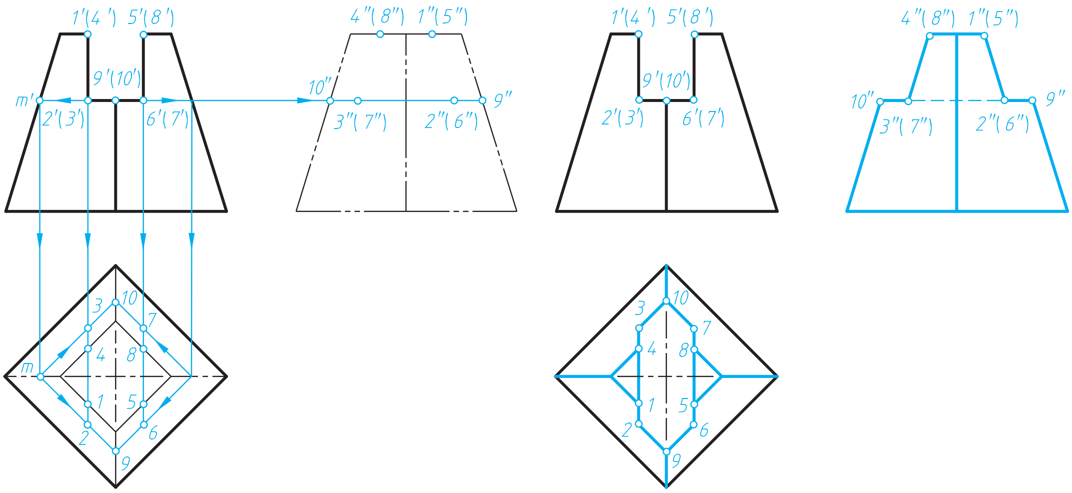
作图　如图 3-9b、c、d 所示。

1）画出四棱台的三面投影之后，再画出开槽正面投影，如图 3-9b 所示。

2）在正面投影上可直接得出 1′、2′、…、10′。因Ⅰ、Ⅳ、Ⅴ、Ⅷ四点在上底面的四条边上，所以其水平投影 1、4、5、8 在上底面水平投影的相应边上。Ⅱ Ⅸ、Ⅲ Ⅹ、Ⅶ Ⅹ和Ⅵ Ⅸ与相应底边平行，为此，延长 9′2′与侧棱交于 m'，由此求得 *m*。过 *m* 作底边投影的平行线，在此线上定出 2 和 9。用同样方法可求出Ⅲ Ⅹ、Ⅵ Ⅸ、Ⅶ Ⅹ等线段的水平投影。依次连接各点，即得开槽的水平投影。根据点的投影规律，可画出各点侧面投影，如图 3-9c 所示。

3）按顺序连接各点并整理轮廓，加粗描深。由于Ⅱ Ⅲ、Ⅵ Ⅶ线段的侧面投影被四棱台左上部遮住，所以其侧面投影画成细虚线，如图 3-9d 所示。





c)　　　　　　　　　　d)

图 3-9　顶部开槽四棱台投影图画法

3.3　曲面立体的投影及其表面的点

表面由曲面或由平面与曲面组成的立体称为曲面立体。工程上常见的曲面立体有圆柱、圆锥、圆球和圆环等，如图 3-10 所示。

3.3.1　圆柱的投影及其表面上取点

1. 圆柱的投影

直线 AA_1（母线）绕与之平行的轴线 OO_1 旋转一周即形成圆柱面。由圆柱面和垂直其轴线的上、下两圆平面围成的立体称为圆柱。母线旋转的任意位置称为素线。如图 3-11a 所示。

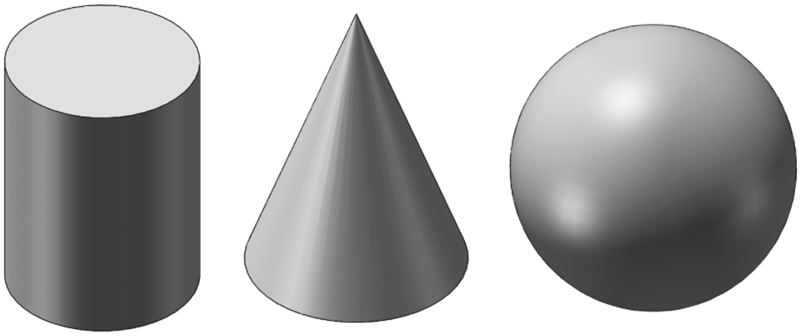
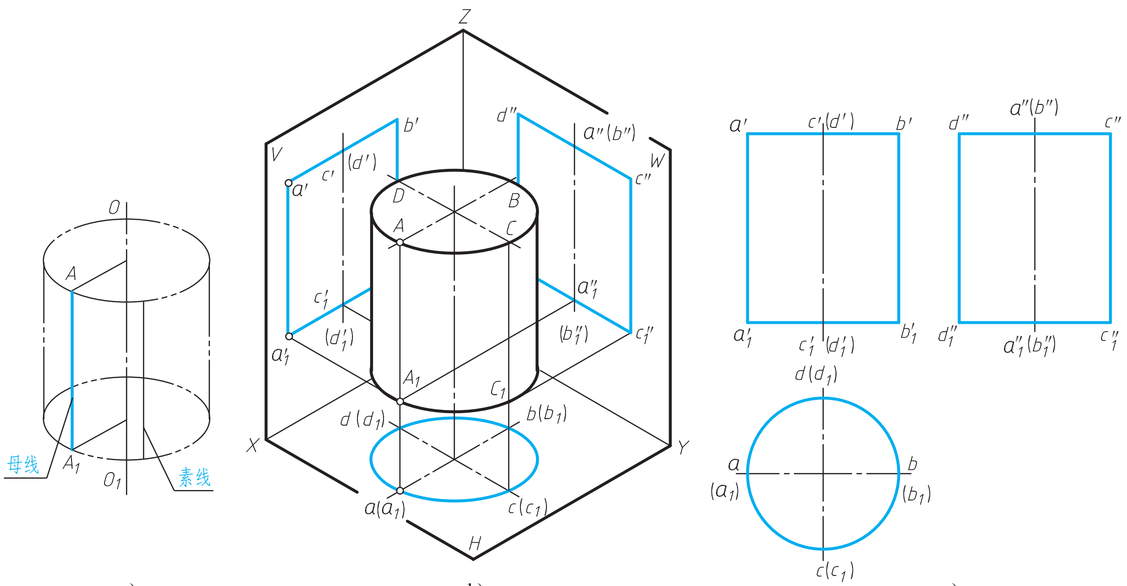


图 3-10　常见的曲面立体

如图 3-11b 所示，圆柱的轴线垂直于水平投影面，故圆柱面的水平投影积聚为一个圆周，圆柱上顶面、下底面的水平投影是此圆域。圆柱的正面投影和侧面投影为相同大小的矩形，正面投影的 $a'a_1'$、$b'b_1'$是圆柱面最左、最右两条素线 AA_1、BB_1 的投影，它们是圆柱面对正面投影的轮廓线，是其正面投影可见（前半圆柱面）和不可见（后半圆柱面）部分的分界线，其水平投影为圆周上的最左、最右两点 $a(a_1)$、$b(b_1)$。这两条素线的侧面投影和圆柱轴线的侧面投影（点画线）重合，规定不画出。同样，圆柱侧面投影的 $c''c_1''$、$d''d_1''$是圆柱侧面投影的轮廓线，是其侧面投影可见（左半圆柱面）和不可见（右半圆柱面）部分的分界线。它的水平投影为圆周上的最前、最后两点 c（c_1）、d（d_1），其正面投影和圆柱轴线的正面投影重合，规定不画出。如图 3-11c 所示为圆柱的三面投影图。

画圆柱投影图时，应注意要先画出各投影的中心线或轴线，然后画出有积聚性的投影圆，最后完成其余两个投影。



a)　　　b)　　　c)

图 3-11　圆柱的形成及三面投影

2. 圆柱表面上取点

可利用投影积聚性求在圆柱面上点的投影。

例 3-4 已知圆柱表面上的点 M 和点 N 的正面投影，求两点的其余两个投影，如图 3-12a所示。

分析 由点 M 的正面投影 m'的位置和可见性，可判定点 M 在左前圆柱面上，再用积聚性求解；点 N 的侧面投影 n''在轮廓线上，可判定点 N 的正面投影在中心线上。

作图 如图 3-12b 所示。

1）利用积聚性求出点 M 的水平投影 m。

2）根据点的投影规律，由 m'及 m 求出 m''。由于点 M 在左半圆柱面上，所以 m''为可见。

3）由于点 N 的侧面投影在轮廓线上，可知点 N 在圆柱最后的素线上，正面投影应在中心线上且不可见，水平投影 n 在圆周上。

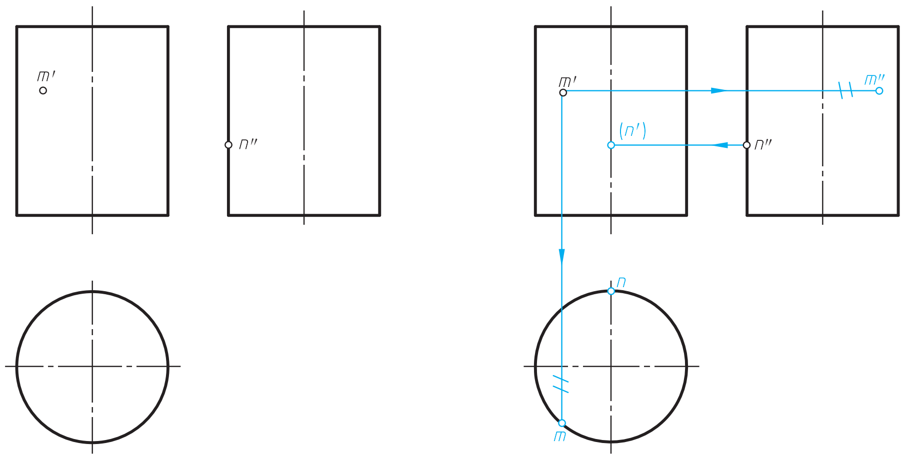


图 3-12 圆柱表面取点

3.3.2 圆锥的投影及其表面上取点

1. 圆锥的投影

一直线 SA（母线）绕与其相交的轴线旋转一周，即形成圆锥面。由圆锥面和垂直于轴线的底面所围成的立体称为圆锥。母线旋转的任意位置称为素线，如图 3-13a 所示。

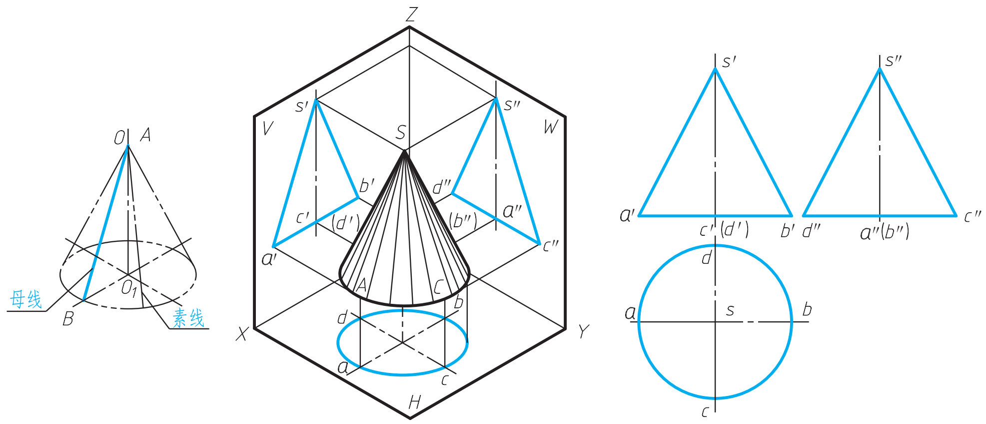
由于此圆锥轴线垂直于水平投影面，它的水平投影为一个圆，该圆为圆锥面与底面交线的投影，圆域为圆锥面的投影。

圆锥的正面投影和侧面投影为相同大小的等腰三角形，其两腰分别是圆锥面的左、右、前、后四条素线的投影。

正面投影 $s'a'$、$s'b'$是圆锥面最左、最右素线 SA 和 SB 的投影，是正面投影的轮廓线，也是圆锥面正面投影可见（前半圆锥面）和不可见（后半圆锥面）部分的分界线。它们的侧面投影与圆锥轴线的侧面投影重合，水平投影和圆的水平中心线重合。同样，侧面投影轮廓线 $s''c''$、$s''d''$是圆锥面上最前、最后两条素线 SC 和 SD 的投影，它们是圆锥面侧面投影可

见（左半圆锥面）和不可见（右半圆锥面）部分的分界线。其正面投影与圆锥轴线的正面投影重合，水平投影和圆的竖直中心线重合，如图 3-13b 所示。

画圆锥投影图时，应先画各投影的中心线，再画底圆及锥顶的各投影，然后画出外形轮廓线的投影。如图 3-13c 所示为圆锥的三面投影图。

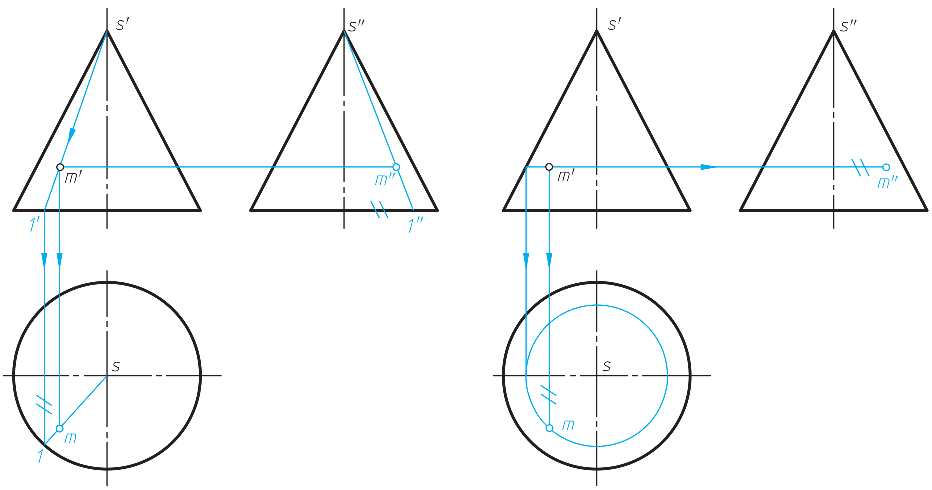


a) b) c)

图 3-13 圆锥的形成及三面投影

2. 圆锥表面上取点

圆锥表面上点的投影，可用辅助线法求出。一般常用素线法和平行圆法，即过锥顶作素线或作垂直于轴线的圆。如图 3-14 所示为两种辅助线法求点 *M* 投影的作图方法。

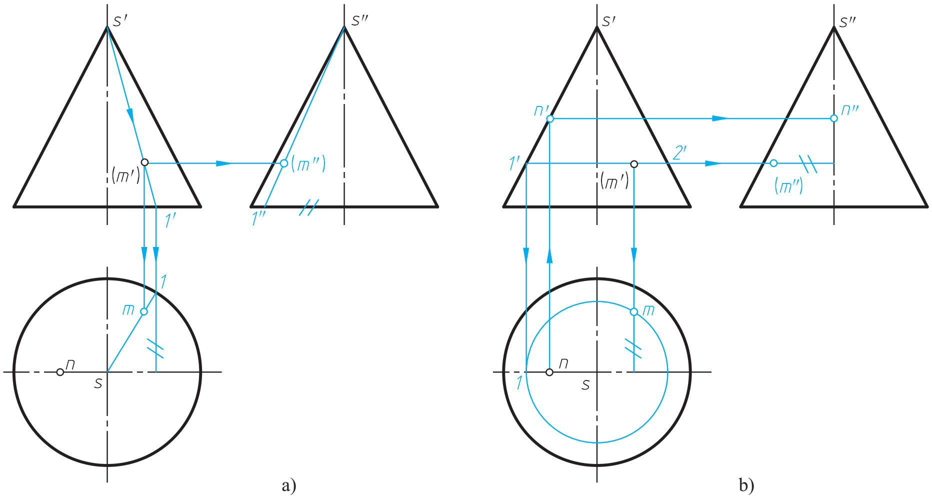


a) b)

图 3-14 锥面取点方法

例 3-5 已知圆锥面上的点 *M* 的正面投影和点 *N* 的水平投影，求两点的其余投影，如图 3-15a 所示。

分析 点 *M* 在右后部分圆锥面上，因此可用素线法或平行圆法作图。点 *N* 的水平投影在水平中心线上，其正面投影可直接作出。



a)　　　　b)

图 3-15　圆锥表面的取点

作图　如图 3-15 所示。

方法一　素线法。如图 3-15a 所示。

1）过（m'）作素线 SⅠ的正面投影 $s'1'$。

2）求出 SⅠ的水平投影 $s1$ 和侧面投影 $s''1''$。

3）M 点在素线 SⅠ上，故 M 的投影在 SⅠ的投影上，求出 m 和 m''。

方法二　平行圆法。如图 3-15b 所示。

1）过点 M 作平行于底面圆的辅助圆，过（m'）作辅助圆的正面投影 $1'2'$，其正面投影为一条水平线，其长度等于该平行圆的直径。

2）求平行圆的其余两投影：由 $1'$得到 1，在水平投影上，以 s 为圆心，$s1$ 为半径画圆，即为此平行圆的水平投影；平行圆侧面投影由点的投影规律作出。

3）根据点 M 的位置和可见性，可知 m 在平行圆水平投影的后半圆上，即可得 m。由（m'）和 m 求出 m''，点 M 属于圆锥面右半面，所以 m''为不可见，写成（m''）。

4）根据点和直线的从属关系，直接求出 n'和 n''。

3.3.3　圆球的投影及其表面上取点

1. 圆球的投影

以半圆为母线，以它的直径为轴线旋转一周形成圆球面，圆球面围成的立体称为圆球，如图 3-16a 所示。

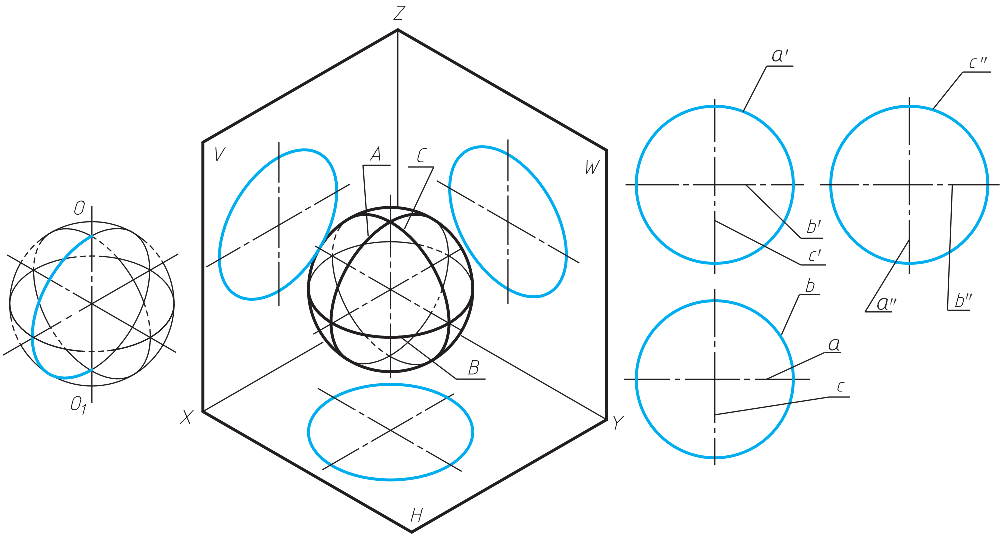
圆球的三面投影均为圆，其直径等于圆球的直径。它们分别是圆球面上的三个不同方向轮廓圆的投影，如图 3-16b 所示。圆球的正面投影圆是圆球面上平行于 V 面的最大圆 A 的投影。圆 A 把圆球分成前半球面（其正面投影可见）和后半球面（其正面投影不可见），它是圆球面正面投影可见性的分界圆。其水平投影积聚成一条直线并与水平中心线（点画线）重合，其侧面投影与侧面竖直的中心线重合，均不画出其投影。

同理，圆球的水平投影圆是圆球面上平行于 H 面的最大圆 B 的投影。圆 B 把圆球分成上、下两半，它是圆球水平投影可见（上半球面）和不可见（下半球面）的分界圆。它的

正面投影和侧面投影分别与相应投影的水平中心线重合，均不画出其投影。

圆球的侧面投影圆是圆球面上平行于 *W* 面的最大圆 *C* 的投影。圆 *C* 把圆球分成左、右两半，它是圆球侧面投影可见（左半球面）和不可见（右半球面）的分界圆。它的正面投影和水平投影分别与相应投影的竖直中心线重合，也不画出其投影。

画圆球的投影图时，应先画出三个投影的中心线，再以相同半径画三个圆，得到球的三面投影图。如图 3-16c 所示为圆球的三面投影。



a)　　b)　　c)

图 3-16　圆球的形成及三面投影

2. 圆球表面上取点

圆球的三个投影均无积聚性，在圆球面上求点的投影，必须用辅助线法。这里只能采用平行圆法。

例 3-6　已知圆球面上点 *A* 的正面投影 *a*′和点 *B* 的侧面投影 *b*″，求它们的其余两个投影，如图 3-17a 所示。

分析　由点 *A* 的正面投影 *a*′位置及可见性，可判定点 *A* 在球面的左、下、前半球面上，因而应在这部分圆球的水平投影和侧面投影的范围内求 *a* 及 *a*″；而点 *B* 的侧面投影 *b*″在圆球的侧面投影轮廓线上，可根据点的位置关系直接得到。

作图　如图 3-17b 所示。

1）过点 *A* 在球面上作辅助圆（侧平面），过点 *A* 的正面投影 *a*′作辅助圆的正面投影 1′2′。

2）作出辅助圆的侧面投影和水平投影。

3）因为正面投影 *a*′可见，则点 *A* 侧面投影在辅助圆的前半圆周上，求得 *a*″，由 *a*′和 *a*″求出 *a*。

4）判别可见性。由于点 *A* 在左、下、前半球面上，所以侧面投影 *a*″可见，而水平投影 *a* 为不可见，记为（*a*）。

5）由于点 *B* 的侧面投影 *b*″在球的侧面投影轮廓线上，且在球的上部和前部，则其正面

投影 b' 和水平投影 b 均在相应的竖直中心线上，且都可见。

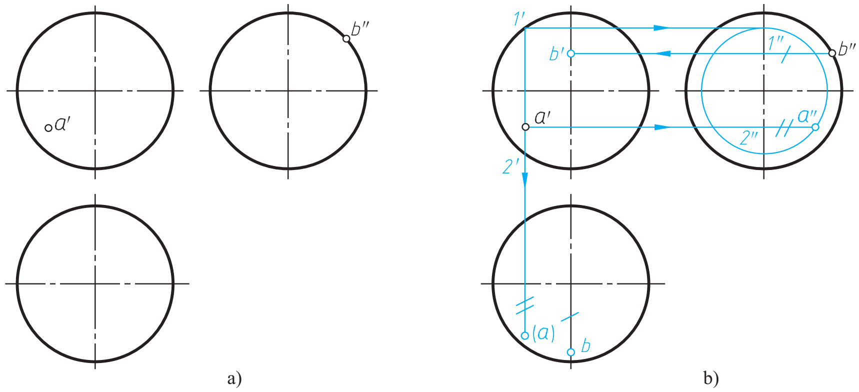


图 3-17　圆球表面取点

本例点 A 也可用水平圆或正平圆作出，请读者自己作图。

3.4　平面与曲面立体相交

平面与曲面立体表面相交，在曲面立体表面产生的交线也称为截交线。由于立体的形状和截平面与立体的相对位置不同，截交线的形状也多种多样，但它们的基本性质是相同的，即

（1）封闭性　截交线一般是封闭的平面曲线或由平面曲线和直线段组成的线框。

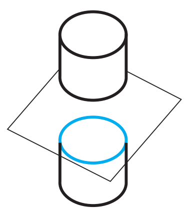
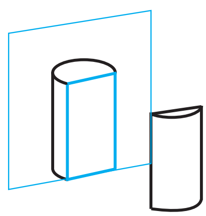
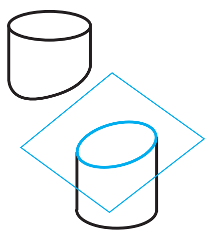
（2）共有性　截交线是截平面和立体表面的共有线，截交线上的点既属于截平面又属于立体表面，是两者的共有点。

求截交线的方法，可归结为求截平面与立体表面的共有点。画截交线时，一般需求出截交线上适当数量的点，然后依次光滑连接。为确切表示截交线，必须先求出特殊点，再求一些一般点。如果截交线的投影中有直线段，则只需求出两端点的投影，而后连线即可。如果截交线的投影为圆，应先求出圆心的位置和半径后画圆。

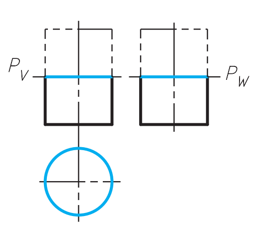
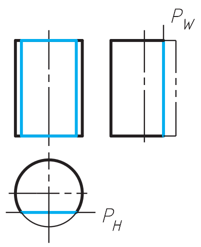
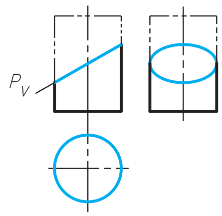
3.4.1　平面截切圆柱

平面截切圆柱其截交线有三种基本形式，即圆、矩形和椭圆，见表 3-1。

表 3-1　平面截切圆柱的基本形式

截平面	与圆柱轴线垂直	与圆柱轴线平行	与圆柱轴线倾斜
截交线	圆	矩形	椭圆
立体图			

（续）

截平面	与圆柱轴线垂直	与圆柱轴线平行	与圆柱轴线倾斜
截交线	圆	矩形	椭圆
投影图			

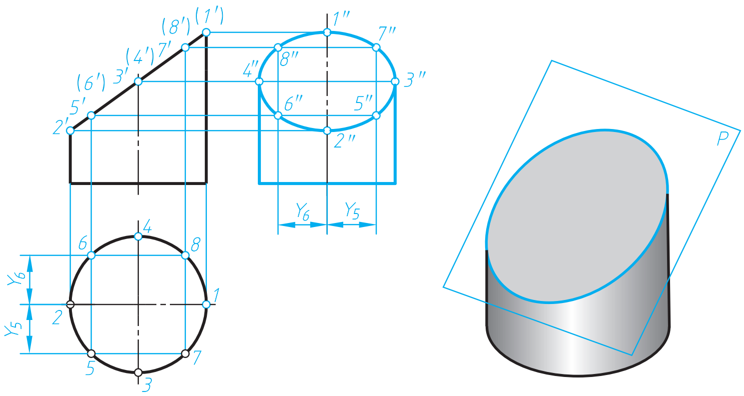
下面介绍圆柱被截切后的投影图画法。

例 3-7　求圆柱被正垂面 *P* 截切后的投影图，如图 3-18 所示。

分析　平面 *P* 与圆柱轴线倾斜，截交线是一椭圆。截交线正面投影重合在 P_V 上。圆柱面的水平投影积聚为圆，截交线的水平投影重合其上。截交线的侧面投影可按圆柱面上作点的方法求出。

作图　如图 3-18a 所示。

（1）求特殊点　特殊点是指截交线上最高、最低、最左、最右、最前、最后等处于极限位置的点以及可见性的分界点，通常这些点是在回转体投影的轮廓线上。图中圆柱正面投影轮廓线上的 1′、2′是截交线的最高和最低点 Ⅰ 、Ⅱ 的正面投影，也是椭圆长轴的两个端点的正面投影。水平投影为 1、2，由正面投影和水平投影可得出侧面投影 1″、2″。正面投影中心线上的 3′、4′是椭圆短轴两端点 Ⅲ 、Ⅳ 的正面投影，也是截交线上最前和最后点的正面投影，其水平投影 3、4 和侧面投影 3″、4″同样可直接作出。



a)　　　　b)

图 3-18　圆柱截切后的三面投影

（2）求一般点　为使作图准确，在特殊点之间的适当位置求出若干个中间点。例如，在正面投影上取点的投影 5′、6′，由圆柱表面作点的方法求出水平投影 5、6，再按点的投影规律求出 5″、6″。7′、8′，7、8 及 7″、8″作法相同。

（3）判别可见性并连线　圆柱左上部被切去，侧面投影全可见，依次光滑连接所得各点的侧面投影。

（4）加粗描深图线，完成全图　侧面投影轮廓线应加粗到 3″、4″处。

例 3-8　画出图 3-19a 所示开槽圆柱的投影图。

分析　以箭头方向为正面投影方向，方槽由两个侧平面和一个水平面切出。两个侧平截面与圆柱面的截交线均为两条直线，与圆柱顶面的交线是两条正垂线。水平截面与圆柱面的截交线为前、后两段水平圆弧。两侧平截面与水平截面相交交出两条正垂线。

作图　作图步骤如图 3-19 所示。注意圆柱侧面投影的轮廓线到 9″、10″为止。两截平面的交线的侧面投影为不可见，5″、6″两点应用细虚线连接。

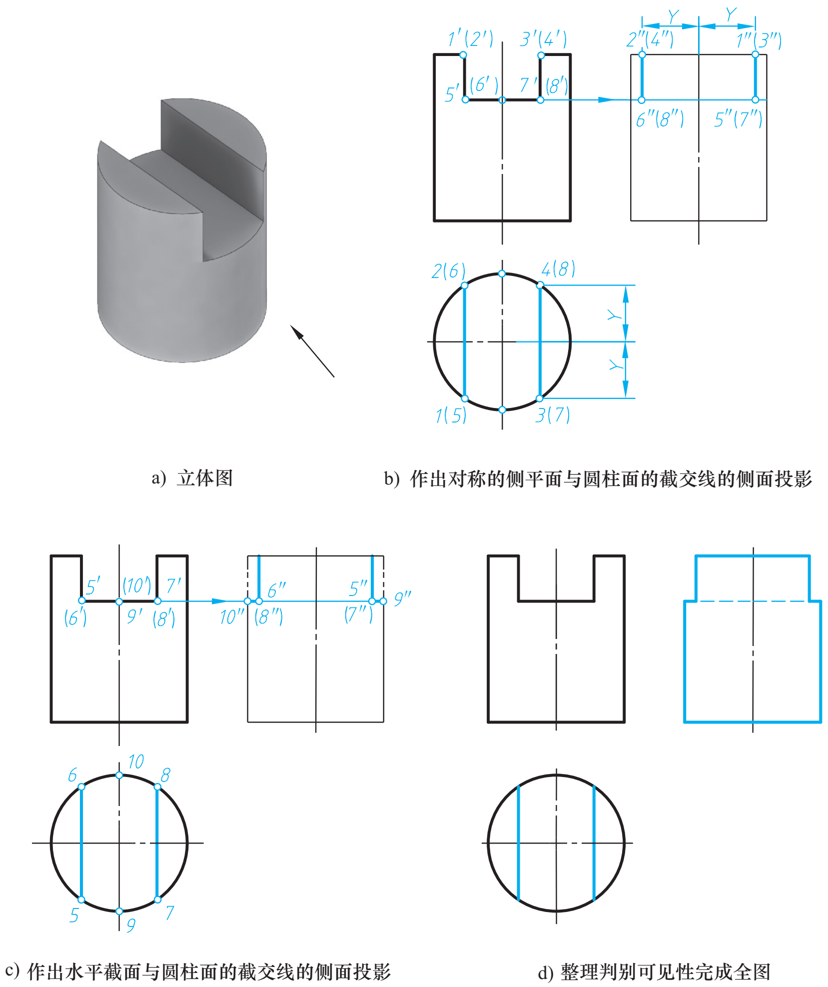


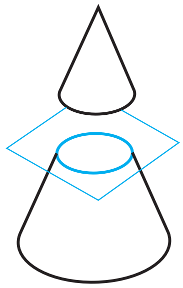
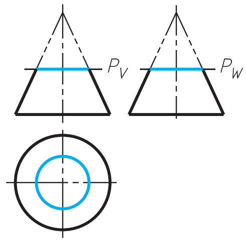
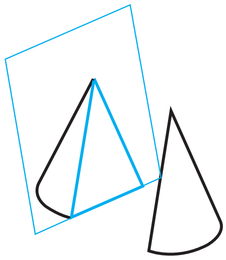
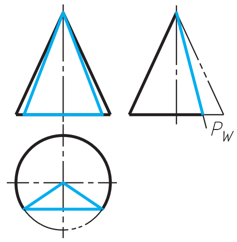
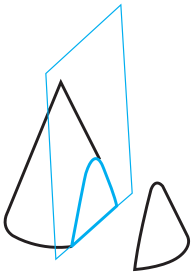
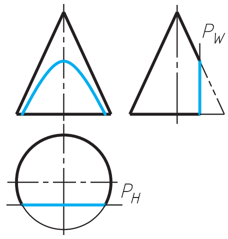
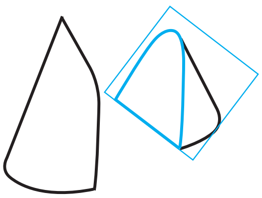
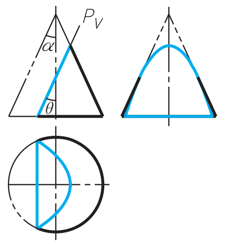
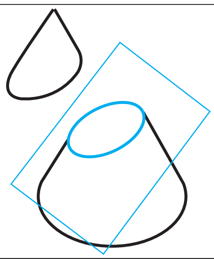
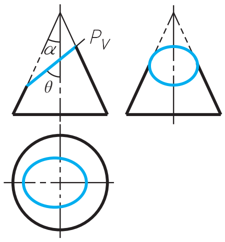
图 3-19　开槽圆柱投影图的作图步骤

3.4.2　平面截切圆锥

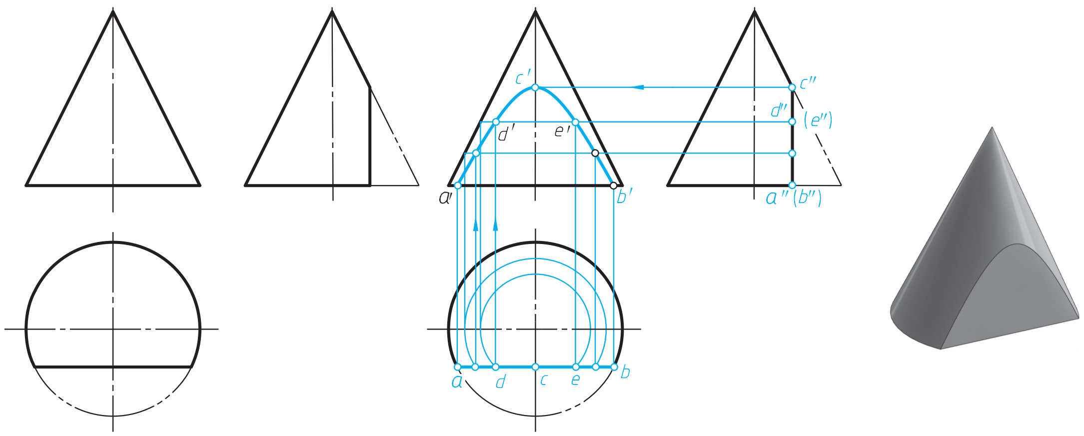
根据截平面与圆锥体轴线的相对位置不同，平面截切圆锥有五种基本形式，见表 3-2。下面举例介绍圆锥被截切的投影图画法。

例 3-9　已知圆锥被截切后的水平投影和侧面投影，求其正面投影，如图 3-20a 所示。

表 3-2　平面截切圆锥的基本形式

截平面位置	截交线形状	直观图	投影图
垂直于轴线	圆		
过锥顶	三角形		
平行于轴线（$\theta=0°$）或平行于两条素线（$\theta<\alpha$）	双曲线		
倾斜于轴线 $\theta=\alpha$	抛物线		
倾斜于轴线 $\theta>\alpha$	椭圆		

分析　截平面为不过锥顶且平行于轴线的正平面，截交线是一条双曲线，其水平投影和侧面投影都积聚成线段，截交线的正面投影反映实形。



a)　　　　b)

图 3-20　求截切圆锥的正面投影

作图　如图 3-20b 所示。

1）求特殊点。圆锥侧面投影轮廓线上的 *c*″是双曲线最高点的侧面投影。由轮廓线、中心线的对应关系求出 *c*′。圆锥水平投影底面圆周上 *a*、*b*，是双曲线最低点的水平投影，由 *a*、*b* 向上作投射线得到其正面投影 *a*′、*b*′。

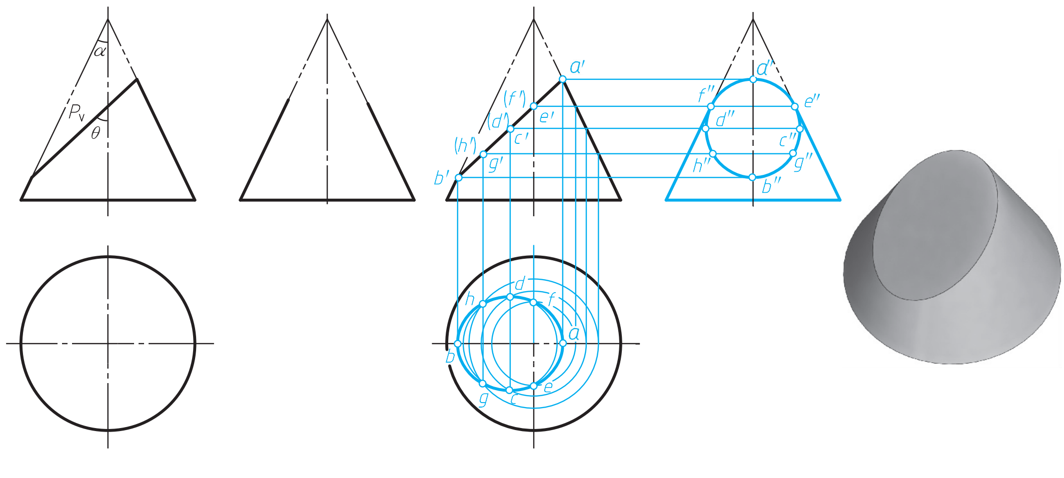
2）求一般点。用平行圆法在水平投影上确定 *d*、*e*，作出此平行圆的正面投影，即可求出 *d*′、*e*′。

3）连线。依次光滑连接所得各点的正面投影，即得双曲线的正面投影。其正面投影均可见。

4）加粗描深图线，完成全图。

例 3-10　已知圆锥被截切后的正面投影，试完成水平投影、侧面投影，如图 3-21a 所示。

分析　截平面 *P* 为倾斜于圆锥轴线（$\theta>\alpha$）的正垂面，所以截交线为椭圆，正面投影积聚在 P_V 上。截交线的水平投影和侧面投影均为椭圆。



a)　　　　b)

图 3-21　求斜截圆锥的水平投影和侧面投影

作图 如图 3-21b 所示。

1）求特殊点。圆锥正面投影轮廓线的点 a'、b' 为椭圆长轴两端点 A、B 的正面投影，也是截交线的最高点和最低点的正面投影。其水平投影 a、b 和侧面投影 a''、b''，可由 a'、b' 直接作出。正面投影的中点 c'、（d'）是椭圆短轴端点 C、D 的正面投影，其水平投影 c、d 和侧面投影 c''、d'' 可用平行圆法求得。e'、（f'）是截交线侧面投影轮廓线上的点 E、F 的正面投影。其侧面投影 e''、f'' 在圆锥侧面投影轮廓线上可直接找到。

2）求一般点。在正面投影上以 g'、（h'）为例，用平行圆法，求得 g、h 和 g''、h''。

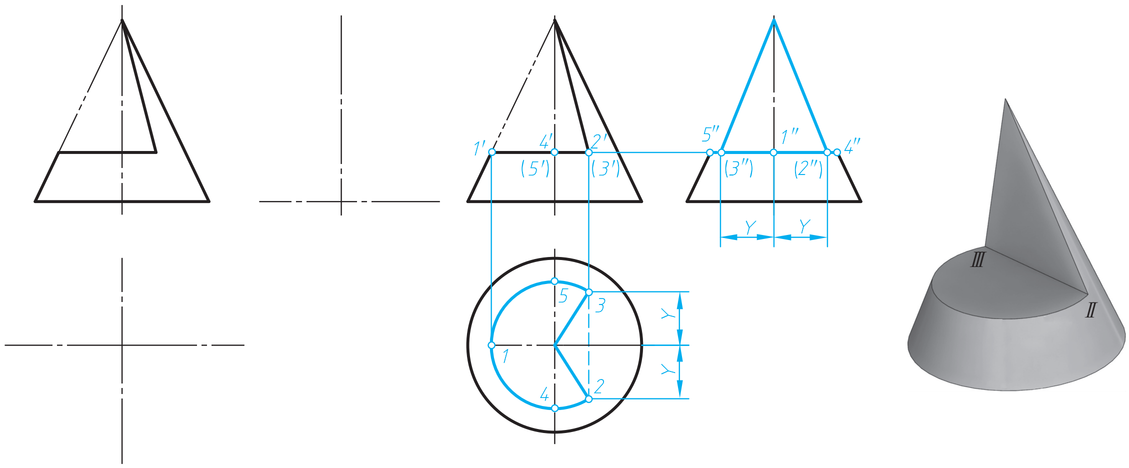
3）连线。依次光滑连接各点的同面投影，即得椭圆的水平投影和侧面投影，均为可见。

4）加粗描深图线，完成全图。侧面投影的轮廓线应加粗到 f'' 和 e'' 处为止。

例 3-11 已知切口圆锥的正面投影，补画出其水平投影、侧面投影，如图 3-22a 所示。

分析 圆锥被两个平面截切。过锥顶的正垂面，与圆锥面的截交线为两段直线；另一截平面为垂直于轴线的水平面，与圆锥面的截交线为一段圆弧；两截平面的交线为一条正垂线。

作图 如图 3-22b 所示，两截平面交线Ⅱ、Ⅲ的水平投影为细虚线，应注意画出。



a) b)

图 3-22 切口圆锥的投影

3. 4. 3 平面截切圆球

平面截切圆球，截交线均为圆，如图 3-23 所示，圆的直径大小与截平面到球心的距离有关，而投影的形状取决于截平面对投影面的相对位置，可为圆、椭圆或积聚为线段。

例 3-12 已知圆球被截切后的正面投影，求其余两投影，如图 3-24 所示。

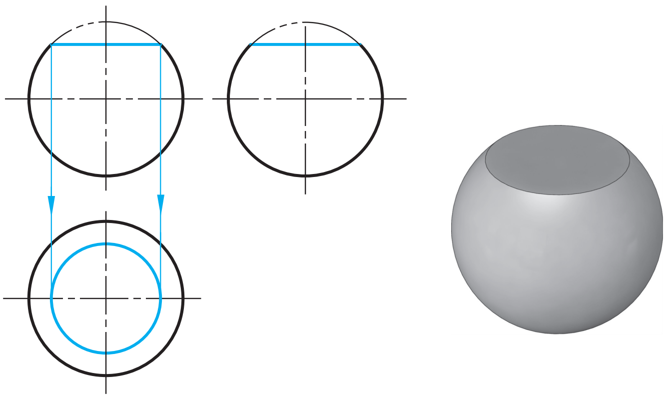


图 3-23 平面截切圆球

分析　截平面为正垂面，截交线为圆，其正面投影积聚成线段，长度等于圆的直径，圆的水平投影和侧面投影均为椭圆。

作图　如图 3-24a 所示。

1）求特殊点。正面投影轮廓线上 1′和 2′为截交线最高点和最低点的正面投影，其水平投影 1、2 和侧面投影 1″、2″，可由 1′、2′直接求得。正面投影 7′、（8′）和 5′、（6′）分别为圆球水平投影轮廓线和侧面投影轮廓线上点的正面投影，它们的水平投影 7、8 和侧面投影 5″、6″可由正面投影求出。

正面投影 1′2′的长度等于截面圆的直径，其水平投影 1 2 和侧面投影 1″2″分别为椭圆短轴的水平投影与侧面投影。椭圆长轴两端点Ⅲ、Ⅳ的正面投影 3′（4′）积聚在 1′2′的中点上。由 3′（4′）利用平行圆法，可求得 3、4 及 3″、4″。

2）求一般点。如 9′、（10′），利用平行圆法，求出其水平投影 9、10 和侧面投影 9″、10″。如此求出若干个一般点。

3）连线。依次光滑连接各点的同面投影，即得椭圆的水平投影和侧面投影，均为可见。

4）加粗描深图线，完成全图。球的水平投影轮廓线加粗到 7、8 为止，侧面投影轮廓线加粗到 5″、6″为止。如图 3-24b 所示。

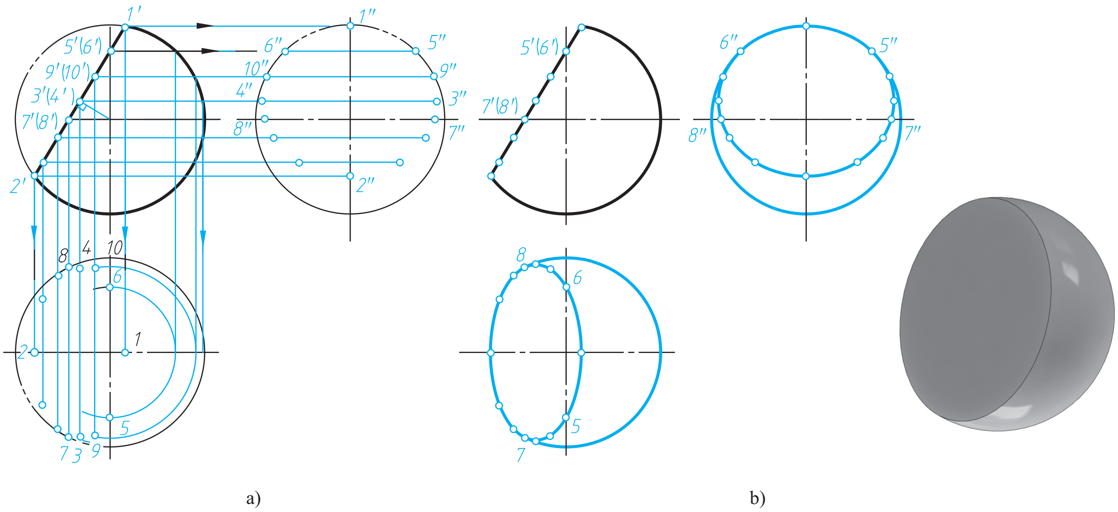


图 3-24　平面截球的投影图

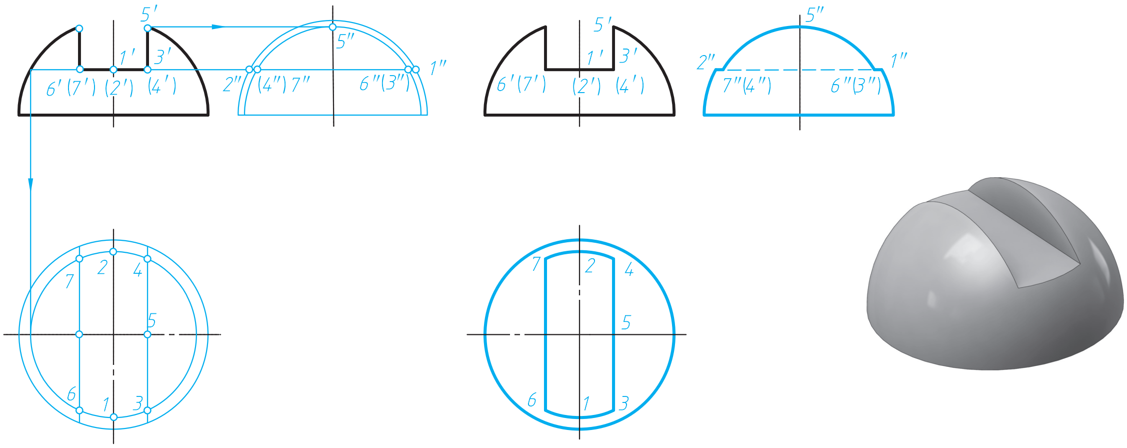
例 3-13　已知开槽半球的正面投影，求其余两投影，如图 3-25 所示。

分析　开槽由两个侧平面和一个水平面截切而成。左右对称的两个侧平截面与球面交出相同大小的一段圆弧；水平截面与球面的截交线为两段同心圆弧，其水平投影反映实形；侧平截面与水平截面的交线为正垂线；由圆弧和正垂线构成的弓形，在侧面投影上反映实形。

作图　如图 3-25 所示。注意半球的侧面投影轮廓线只画到 1″、2″为止。3″4″为侧平截面与水平截面交线的侧面投影，不可见，应画成细虚线。

3.4.4　平面截切回转体

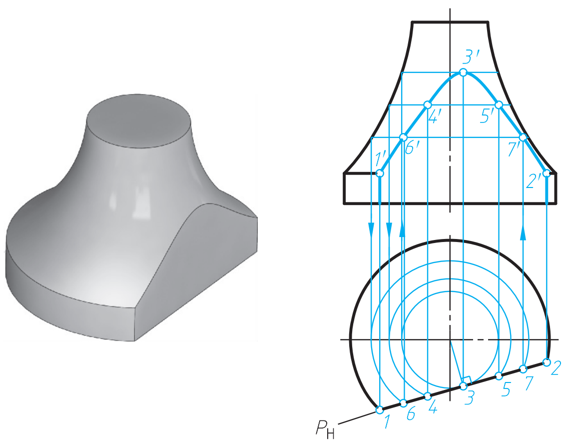
如图 3-26a 所示为平面 *P* 截切回转体，回转体的下端为圆柱面，截平面 *P* 为铅垂面，它



a) b)

图 3-25　开槽半球的投影

与圆柱部分的截交线为两条直线，与回转体上部截交线为一平面曲线，曲线上各点可用一系列平行圆求得。截交线最高点Ⅲ，是回转面与平面 P 相切的那个平行圆的切点。如图 3-26b 所示，水平投影上作圆与 P_H 相切于点 3，即是最高点Ⅲ的水平投影。作出此圆的正面投影，即可求出最高点Ⅲ的正面投影 3′。在最高点Ⅲ和最低点Ⅰ、Ⅱ之间作平行圆，即可求出截交线上其余各点。作法如图 3-26b 所示。



a) b)

图 3-26　回转体截交线

3.5　两曲面立体相交

两曲面立体相交其表面产生的交线称为相贯线。相贯线具有下述性质：

1）相贯线是两立体表面的共有线，也是两立体表面的分界线。相贯线上的点是两立体表面的共有点。

2）相贯线一般情况下是封闭的空间曲线（一条或两条），特殊情况下是平面曲线或线段。

3）相贯线的形状和数量取决于两立体的形状、大小和相对位置。

4）求相贯线的投影，实质是求两立体表面的一系列共有点的投影，尤其是特殊点的投影，然后顺次光滑连接。画相交立体的投影，既要正确画出相贯线的投影，又要画出相交立体轮廓线的投影。

下面介绍求相贯线常用的两种方法：利用积聚性法和辅助平面法。

3.5.1 利用积聚性法求相贯线

当圆柱与另一回转体相交时，若圆柱轴线垂直于某一投影面，就可利用圆柱面投影积聚性求出相贯线其他投影。

例 3-14　求正交圆柱的相贯线，如图 3-27 所示。

分析　两圆柱轴线垂直相交（正交），如图 3-27a、b 所示。大圆柱轴线为侧垂线，该圆柱面的侧面投影积聚成圆，相贯线的侧面投影为此圆上的一段圆弧。小圆柱轴线为铅垂线，该圆柱面的水平投影具有积聚性，相贯线的水平投影在小圆柱面的水平投影上，为一个圆。现仅需求相贯线的正面投影。

作图　如图 3-27c、d 所示。

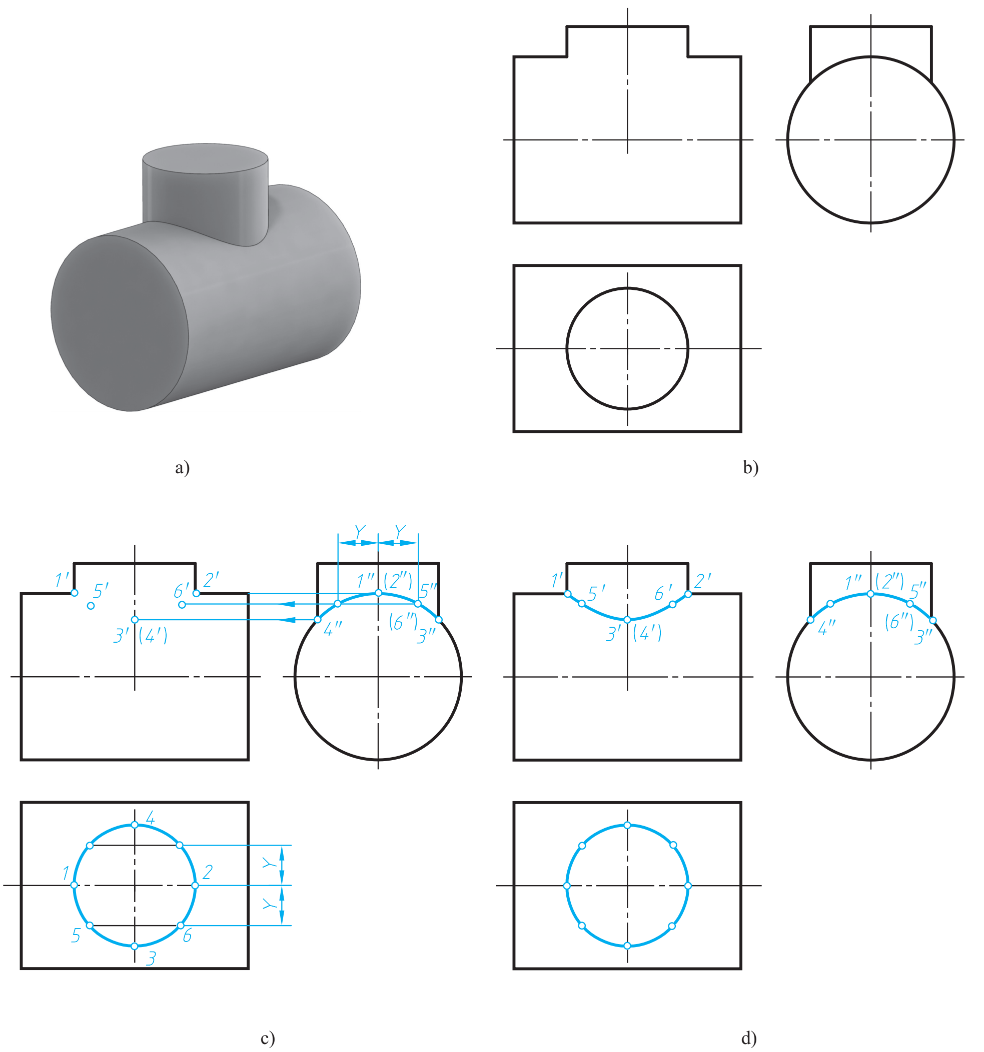


图 3-27　两圆柱垂直相交

1）求特殊点。由相贯线最高点Ⅰ、Ⅱ，最前、最后点Ⅲ、Ⅳ的侧面投影 1″、(2″)、3″、4″和水平投影 1、2、3、4，求出正面投影 1′、2′、3′、(4′)。

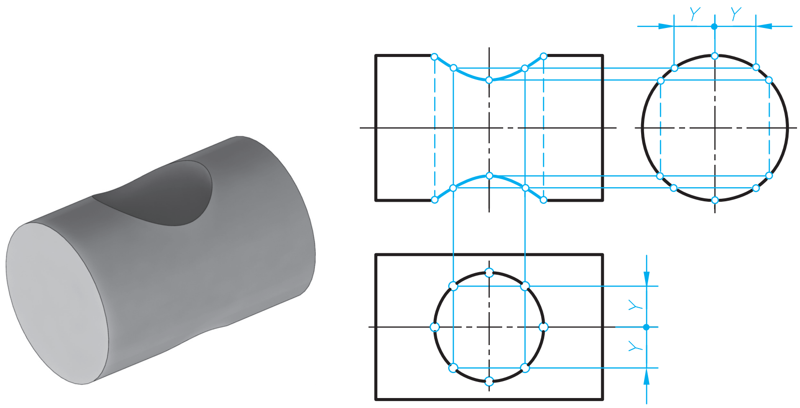
2）求一般点。以Ⅴ、Ⅵ为例，按照投影规律由侧面投影 5″、（6″）和水平投影 5、6，求得正面投影 5′、6′。

3）判别可见性，依次光滑连线。判别相贯线可见性的原则是：只有当相贯线同时属于两曲面体的可见表面时才可见。本例相贯线的正面投影因立体前后对称，相贯线前后重合。

4）加粗描深图线，完成全图。注意正面投影轮廓线画到 1′、2′为止，1′、2′之间为实体，不存在轮廓线。

例 3-15　完成圆柱体钻孔后的投影，如图 3-28 所示。

本题相当于上例中从大圆柱抽去小圆柱而成。其相贯线的形状和作图方法与上例相同。但因圆柱孔是全通的，所以有上下两条相贯线。孔的正面投影轮廓线和侧面投影轮廓线是不可见的，应画成细虚线。作图如图 3-28b 所示。

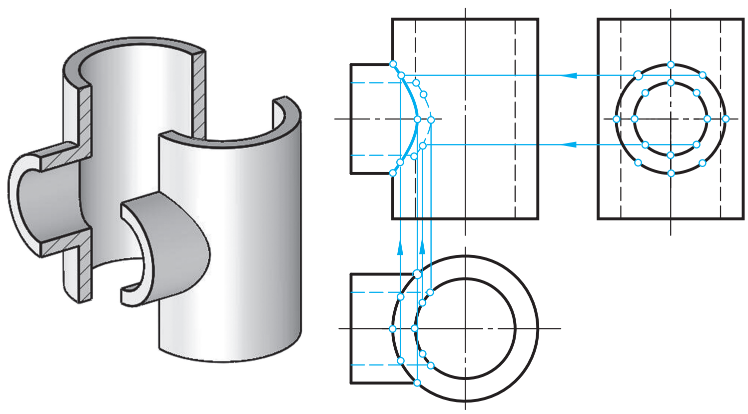


a)　　　b)

图 3-28　圆柱钻孔后的投影

例 3-16　图 3-29 所示为正交三通管的相贯线画法。

作图方法同前例。但应注意内表面间的相贯线和内表面的轮廓线均不可见，应画成细虚线。



a)　　　b)

图 3-29　正交三通管的投影

3.5.2　辅助平面法求相贯线

辅助平面法是利用特殊平面作辅助平面，使其与相交的两曲面立体表面都相交，得到两组截交线，截交线的交点是辅助平面和两曲面的三面共有点，也就是相贯线上的点。作一系列辅助平面，就可得出一系列的共有点，然后依次光滑连接这些点的同面投影，就得到相贯线的投影。

选择辅助平面的原则是：辅助平面与两曲面截交线的投影，都应是简单易画的直线或圆。

例 3-17　圆柱与圆台正交，作出它们的相贯线。

分析　如图 3-30 所示，圆柱轴线垂直于侧面，相贯线的侧面投影重合在圆柱面的侧面投影的圆上。圆柱和圆台的正面投影和水平投影均没有积聚性，需要通过作图求出相贯线的相应投影。本例可选用水平面作辅助平面，它与圆柱面和圆台面的截交线的投影分别为直线和圆。本例也可用通过锥顶的侧垂面作辅助面。

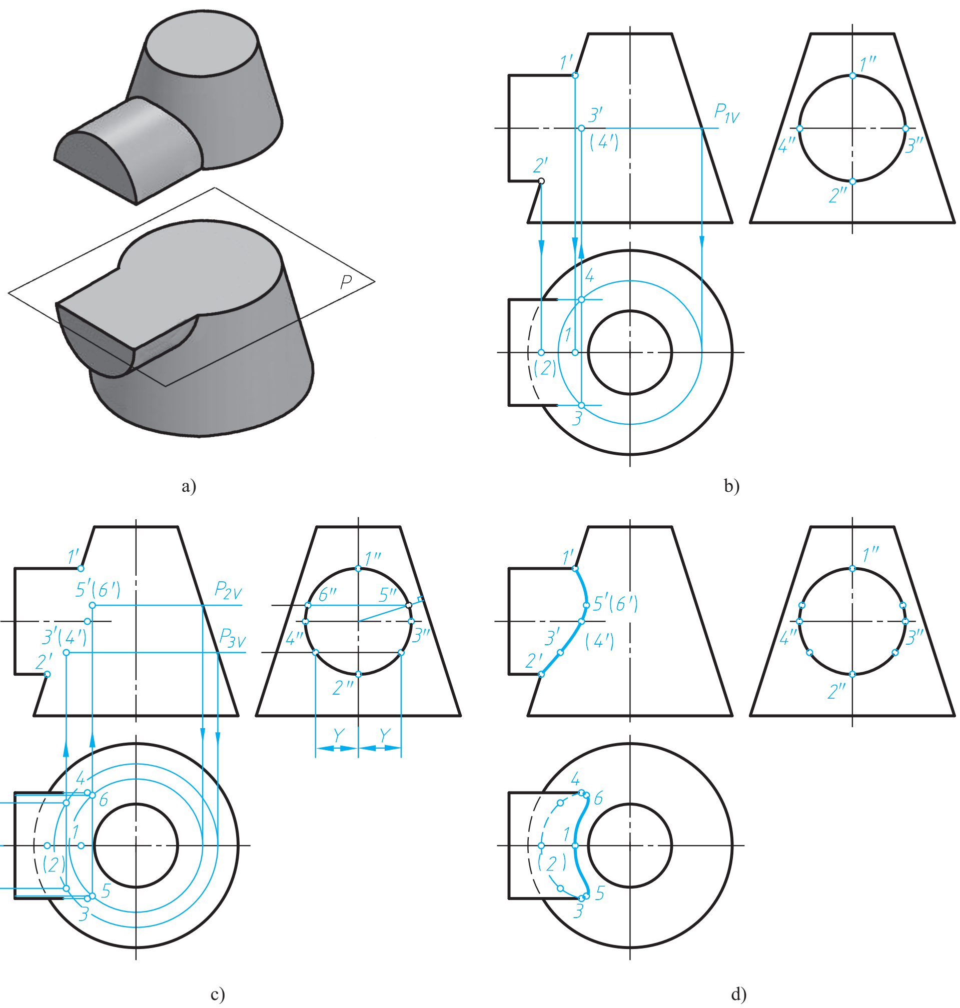


图 3-30　圆柱与圆台垂直相交

作图 如图 3-30b、c、d 所示。

1）求特殊点。如图 3-30b 所示，1″、2″为相贯线最高点和最低点的侧面投影，其正面投影 1′、2′为正面投影轮廓线的交点。由 1′、2′求得 1、2。3″、4″为相贯线最前、最后点，也是相贯线水平投影可见性分界点的侧面投影。其余两投影用辅助水平面求得，过水平圆柱轴线作辅助水平面 P_1，它与圆柱面截交线为两条水平投影轮廓线，与圆台相交于一水平圆，两组交线水平投影交点即为所求 3、4。由 3、4 在 P_1 上求得 3′、4′。再做辅助水平面 P_2，作出最右点的正面投影 5′、6′。

2）求一般点。在最高点 Ⅰ 和最低点 Ⅱ 之间适当位置作辅助水平面。如图 3-30c 所示，作辅助水平面 P_3，再求出两个一般点的正面投影。如此，再求得若干个一般点。

3）判别可见性并依次光滑连线。整个立体前后对称，相贯线正面投影前后重合。水平投影以 3、4 为分界，上半圆柱面上相贯线可见，即 46153 可见，而 423 不可见，画成细虚线。

4）加粗描深图线，完成全图。圆柱的水平投影轮廓线应加粗到 3、4。被圆柱挡住的圆台底面部分圆弧应画成细虚线，如图 3-30d 所示。

例 3-18 圆台与半圆球相交，求其三面投影，如图 3-31 所示。

分析 圆台与半圆球相贯，三个投影均无积聚性，所以本例仅能用辅助平面法求相贯线。

作图 如图 3-31 所示。

1）求特殊点。如图 3-31b 所示，由于立体前后对称，所以正面投影轮廓线的交点 1′为相贯线最高点的正面投影。由 1′求出 1 和 1″。圆台底面和半球底面在同一个水平面上，其水平投影交点 2、3，即为相贯线最低点的水平投影。由 2、3 求出 2′、3′和 2″、3″。过圆台轴线作辅助侧平面 P，它与圆台截交线为侧面投影轮廓线，与球面交于一个平行于侧面的半圆，两者交点的侧面投影 4″、5″为相贯线侧面投影轮廓线上的点，是可见性分界点。由 4″、5″求出 4′、（5′） 和 4、5。

2）求一般点。作辅助水平面 Q，它与圆台和半球的交线均为水平圆，两圆的水平投影交点为 6、7，由 6、7 在 Q_V 上求得 6′、（7′），在 Q_W 上求得 6″、7″，如图 3-31c 所示。

3）判别可见性，依次光滑连线。相贯线正面投影前后重合，相贯线水平投影全可见，相贯线侧面投影以 4″、5″为界，在圆台左半锥面的相贯线 5″6″3″和 4″7″2″可见，而 5″1″4″不可见，画成细虚线。

4）加粗描深图线，完成全图。圆台和半圆球的侧面投影轮廓线的交点，不是两立体表面共有点的投影，相贯线并不经过此点，圆台的侧面投影轮廓线应加粗到 4″、5″为止。半圆球侧面投影轮廓被圆台遮挡部分应画成细虚线，如图 3-31d 所示。

3.5.3 相贯线形状、趋向及其特殊情况

相贯线的形状、数量，决定于相交两立体的形状、大小和相对位置。例如，当相交两圆柱的轴线相对位置变动时，其相贯线的形状和数量均发生变化。如图 3-32 所示为两圆柱大小不变，而轴线的相对位置由正交变为垂直交叉时相贯线的几种情况。

当正交两圆柱，其位置不变，仅改变直径大小时，相贯线也发生变化。表 3-3 列出了这种变化的情况。

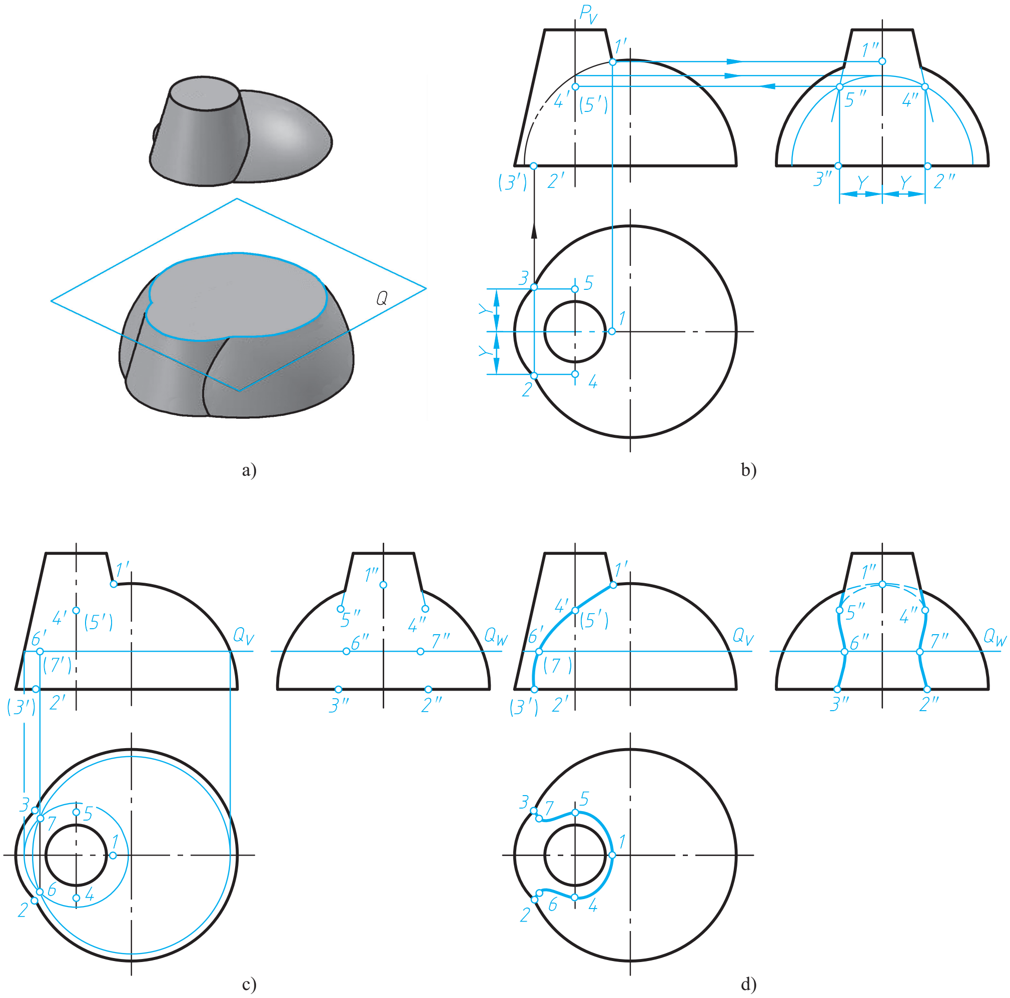


图 3-31　圆台与半球相交

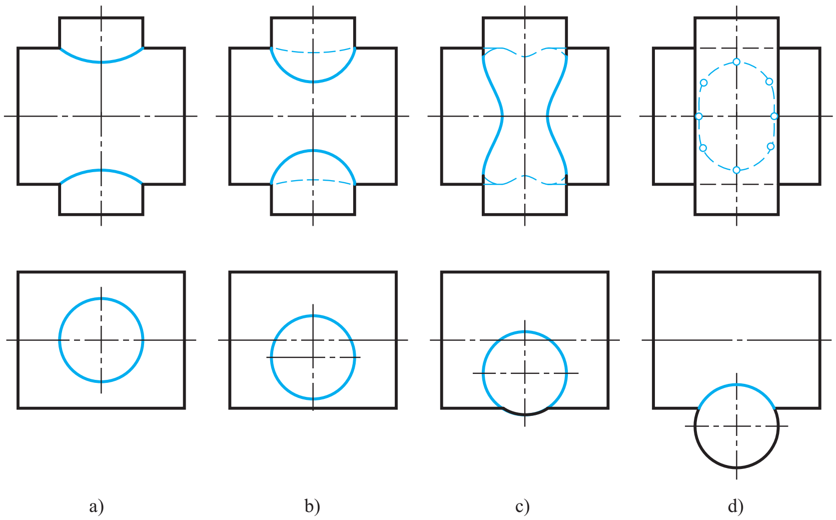
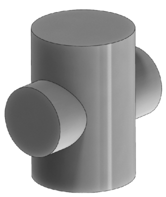
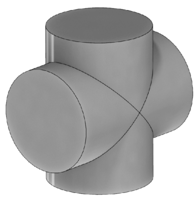
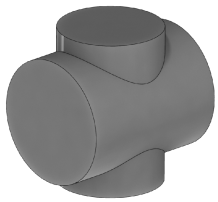
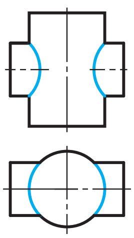
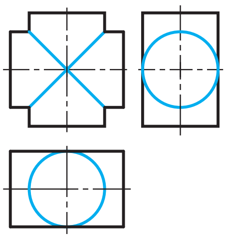
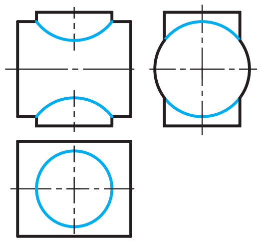
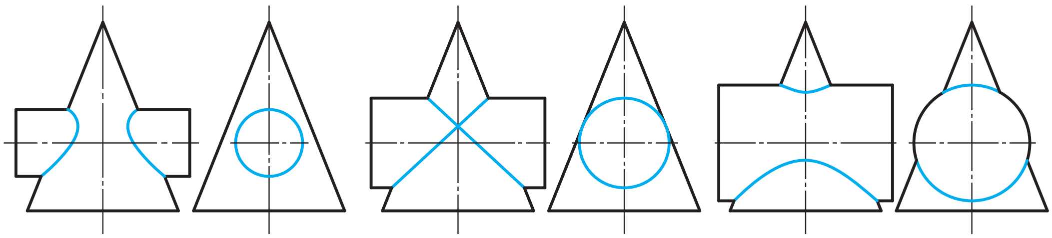


图 3-32　圆柱轴线位置变动相贯线变化情况

从表 3-3 可以看出轴线相交两圆柱相贯时，其相贯线投影总是向直径大的圆柱轴线方向弯曲。图 3-33 所示为直立圆锥大小不变，而圆柱由小变大时相贯线变化的情况。

表 3-3　正交两圆柱相贯的基本形式

两圆柱直径比	直立圆柱直径大	圆柱直径相等	直立圆柱直径小
直观图			
相贯线的形状	左、右两条空间曲线	两个相等的椭圆	上、下两条空间曲线
投影图			

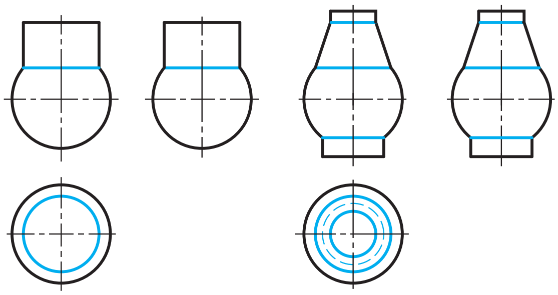


a)　　b)　　c)

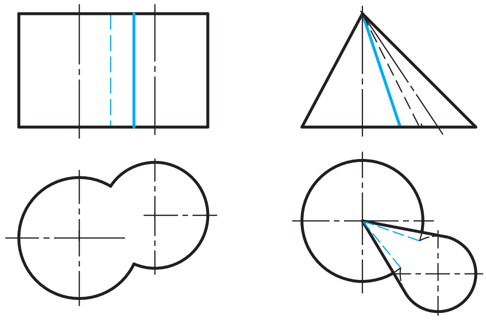
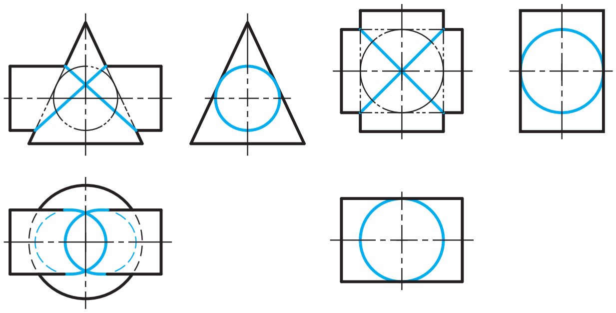
图 3-33　正交圆锥、圆柱相贯线趋向

相贯线在特殊情况下，可能是平面曲线或直线，其情况见表 3-4。

表 3-4　相贯线的特殊情况

相贯条件	投影图示例
同轴线回转体相交，如圆柱、圆锥、圆球同轴，相贯线为垂直于轴线的圆	

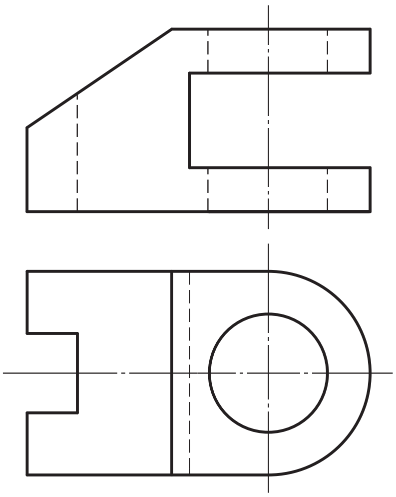
（续）

相贯条件	投影图示例
轴线平行的圆柱或共锥顶的圆锥相交，相贯线为平行于圆柱轴线的素线或过锥顶的素线	
回转体同时外切于一个圆球，相贯线为两条平面曲线（椭圆）	

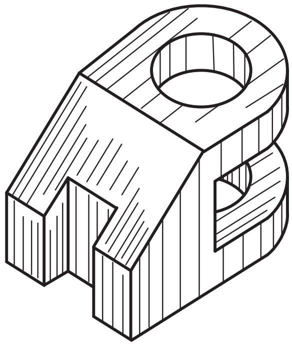
第 4 章

轴 测 图

多面正投影图的优点是能够完整而准确地表示物体的形状和大小，并且作图简便，因此在工程实践中被广泛采用。但它缺少立体感，不熟悉正投影规律的人，很难读懂这种图样。因此，在工程上还采用在一个投影面上同时反映物体的长、宽、高三个坐标而富有立体感的轴测投影图，如图 4-1b 所示。虽然它存在变形、度量性差和画图费时等缺点，但仍被广泛应用于各种书刊、产品说明书、管路图以及在生产过程和工程设计中交流设计思想、表达设计方案等。



a)



b)

图 4-1　正投影图和轴测投影图

4.1　基本知识

4.1.1　轴测图的形成

将物体连同其直角坐标体系，沿不平行于任意坐标平面的方向，用平行投影法将其投射在单一投影面上所得到的图形称为轴测投影图，简称轴测图，如图 4-2a 所示。

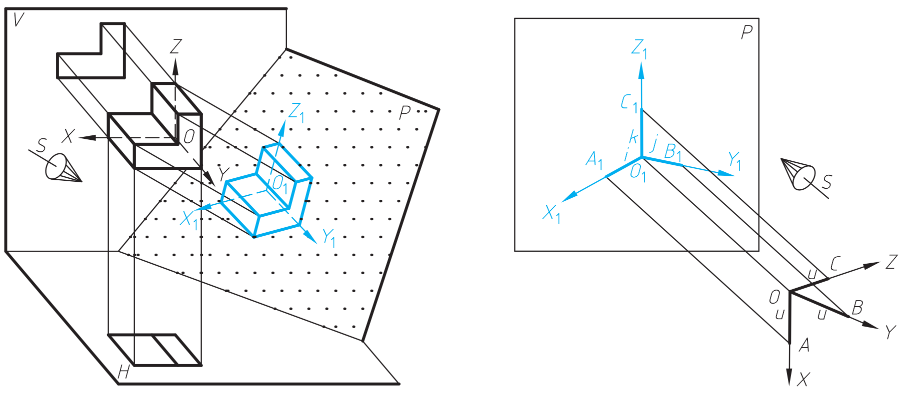


图 4-2　轴测投影

获得轴测投影图的平面称为轴测投影面，投射线方向 S 称为投射方向，空间直角坐标系 OX、OY、OZ 轴在轴测投影面上的投影 O_1X_1、O_1Y_1、O_1Z_1 称为轴测投影轴，简称轴测轴。轴测轴之间的夹角 $\angle X_1O_1Y_1$、$\angle X_1O_1Z_1$、$\angle Y_1O_1Z_1$ 称为轴间角。

如图 4-2b 所示，在空间直角坐标轴 OX、OY、OZ 上各取相同的单位长度 u，投射到轴测投影面上，在轴测轴 O_1X_1、O_1Y_1、O_1Z_1 上有相应的投影长度为 i、j、k。投影长度与原坐标轴上的单位长度之比，称为轴向伸缩系数。

设 $i/u=p$，$j/u=q$，$k/u=r$，则 p、q、r 分别称为沿 OX、OY、OZ 轴的轴向伸缩系数。

显然，p、q、r 的大小是随着坐标轴 OX、OY、OZ、投影面 P、投射方向 S 三者相对位置的不同而变化的，它们的变化亦将引起对应的轴间角的改变。轴间角和轴向伸缩系数是画物体轴测图的作图依据，它们的变化直接影响着物体轴测图的形状和大小。

作图时，根据轴向伸缩系数，即可分别计算和量出轴测图上各个轴向线段的长度，“轴测”的含义就是沿轴测量的意思。

4.1.2　轴测投影的性质

轴测投影图是用平行投影法所获得的单面投影，因此具有平行投影的一切性质。在画轴测图时经常运用的有以下性质：

1）物体上互相平行的线段，其轴测投影仍互相平行，且线段长度之比等于其投影长度之比。

2）物体上与某坐标轴平行的线段，其轴测投影必平行于相应的轴测轴，且与该轴具有相同的轴向伸缩系数。

4.1.3　轴测投影的分类

根据投射方向 S 与轴测投影面 P 之间所形成的角度，轴测投影分为两类，即正轴测投影与斜轴测投影。

1）投射方向 S 与轴测投影面 P 垂直，称为正轴测投影。

2）投射方向 S 与轴测投影面 P 倾斜，称为斜轴测投影。

根据轴向伸缩系数的不同，上述两类轴测投影又划分为：

1）三个轴向伸缩系数均相等，即 $p=q=r$，称为正（斜）等测。

2）其中两个轴向伸缩系数相等，即 $p=q\neq r$ 或 $q=r\neq p$ 或 $p=r\neq q$ 称为正（斜）二测。

3）三个轴向伸缩系数互不相等，即 $p\neq q\neq r$，称为正（斜）三测。

以上几种轴测投影图中，从立体感强和作图方便出发，国家标准《技术制图》中推荐采用三种轴测图：正等测、正二测和斜二测。下面仅介绍正等测和斜二测两种轴测图。

4.2 正等测轴测图的画法

4.2.1 轴间角和轴向伸缩系数

根据几何证明，正等测的轴间角皆为 120°，如图 4-3 所示，轴向伸缩系数 $p=q=r=1$，即沿各轴测轴方向的线段投影长度都取等于空间线段的实际长度。因此，画轴测图时，可从正投影图上直接量取物体的实长作图。立方体的正等轴测图，如图 4-4 所示。

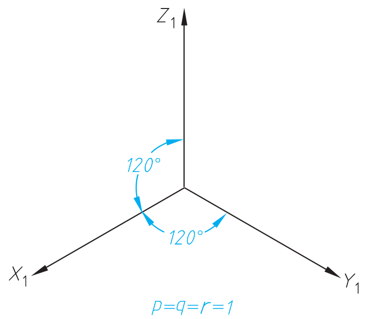


图 4-3 正等测的轴间角和轴向伸缩系数

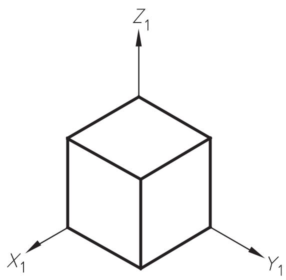


图 4-4 立方体的正等轴测图

把用理论轴向伸缩系数和用简化伸缩系数画出的图作一比较，即可看出，两轴测图的大小虽然不同，但形状并不改变，不影响立体感。

4.2.2 平面立体正等测轴测图的画法

绘制轴测图的最基本方法是坐标法。绘制平面立体轴测图，根据平面立体的组成情况，可采用切割法和叠加法。

1. 坐标法

根据平面立体的特点，选定合适的坐标轴，再根据平面立体表面上各个顶点的坐标，分别画出它们的轴测图，然后把各点用直线连接成立体的轴测图。

例 4-1 画出如图 4-5 所示的六棱柱的正等测轴测图。

作图 如图 4-6 所示。

1）在图 4-5 上设置坐标系，确定Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ各点。

2）画轴测轴，作出 Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ 各点的正等测图 I_1、II_1、III_1、IV_1，如图 4-6a 所示。

3）再作出六边形上另外四点的轴测图，如图 4-6b 所示。

4）将六边形的各顶点连接起来，从各顶点向下引线，引线的长度取六棱柱的高 h，得底面上各点，如图 4-6c 所示。

5）作出六棱柱底面的可见棱线，并整理加粗描深，如图 4-6d 所示。

2. 切割法

对于某些带缺口的平面立体，可以先画出完整形体的轴测图，然后再根据平面立体形成的特点，逐块地进行切割，去掉切去的部分，最后得到所需平面立体的轴测图。

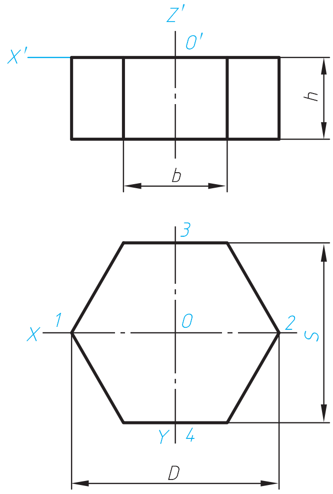


图 4-5　正六棱柱的投影图

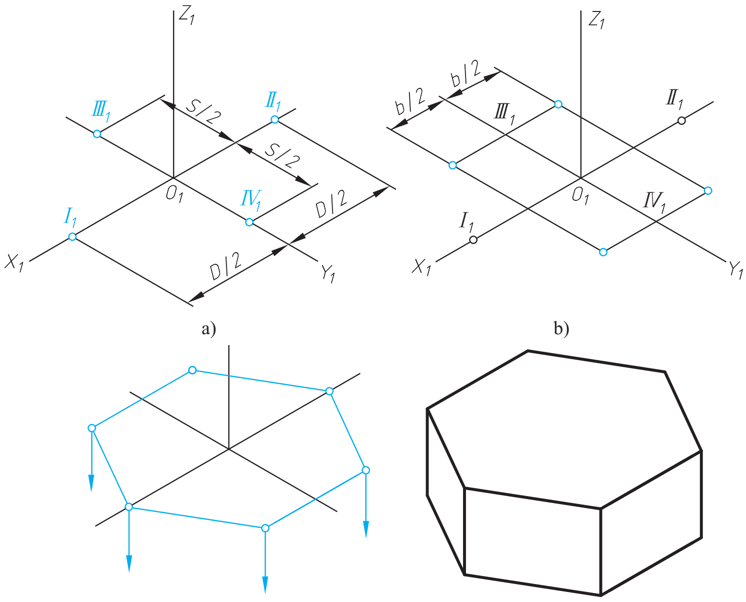


图 4-6　正六棱柱的正等测轴测图画法

例 4-2　根据平面立体的投影图，如图 4-7a 所示，用切割法绘制其正等测轴测图。

分析　将组合体看作是一块大的长方体经过几次切割而形成。

作图　如图 4-7 所示。

1）在图 4-7a 上确定坐标原点和坐标轴。

2）根据尺寸画出 20×15×15 的长方体，如图 4-7b 所示。

3）去除一块（20−4）×(15−4)×(15−4）的长方体，如图 4-7c 所示。

4）再切割去侧板前上方 4×4 的棱柱，如图 4-7d 所示。

5）最后切去立板左上角的三棱柱，如图 4-7e 所示。

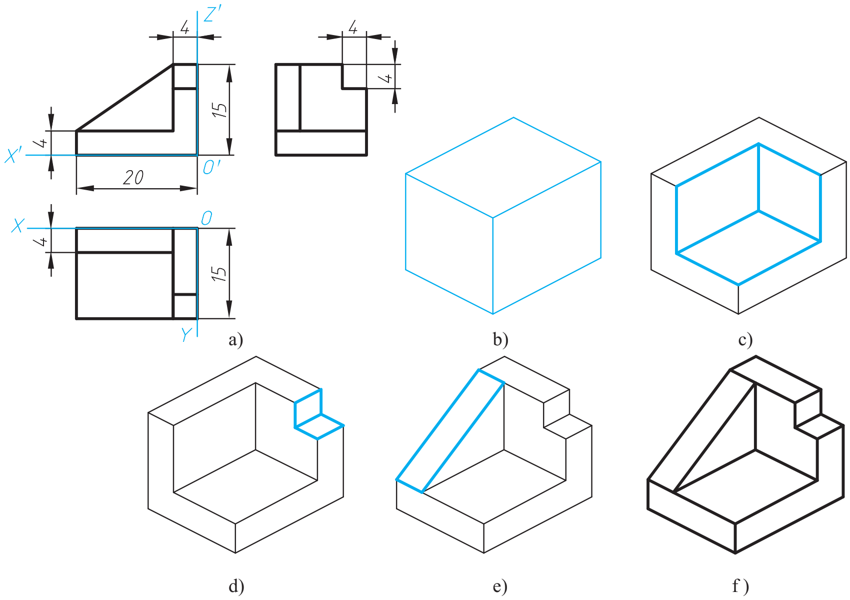


图 4-7 用切割法画立体正等测轴测图

6）检查、加粗描深。

3. 叠加法

对于由几部分简单形体组合而成的立体，可将各部分的轴测图按照它们之间相对位置叠加起来，画出各表面之间的连接关系，即得平面立体的轴测图。

例 4-3 用叠加法画出 4-8a 所示平面立体的正等测轴测图。

分析 平面立体可看成由Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ部分组成。其中Ⅰ、Ⅱ部分是四棱柱，Ⅲ部分是三棱柱，它们互相叠加而成。按它们的相对位置逐一画出三部分的轴测图，即可得到该平面立体的轴测图。

作图 如图 4-8 所示。

1）在平面立体的三面投影图上确定坐标原点和坐标轴，如图 4-8a 所示。

2）先画出底板Ⅰ，如图 4-8b 所示。

3）画出立板Ⅱ，同时将同一表面上的分界线去除，如图 4-8c 所示。

4）画出支撑板Ⅲ，如图 4-8d 所示。

5）检查、加粗描深，完成全图，如图 4-8e 所示。

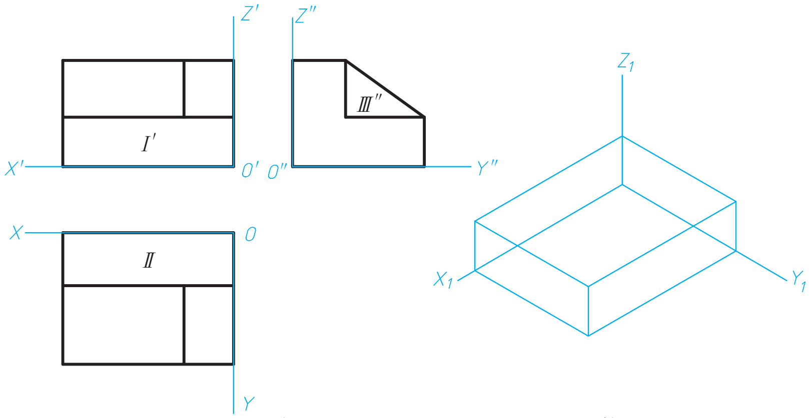
4.2.3 曲面体的正等测画法

组合体上经常带有圆柱面、圆锥面等曲面结构，不论是圆柱或是圆锥，其各底面多为圆周，而圆周的正等测轴测投影均为椭圆。

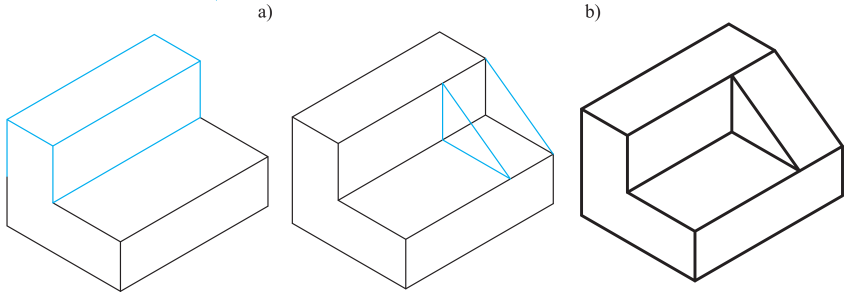
1. 平行于坐标面圆的正等测画法

平行于各坐标面圆的正等测轴测图均为椭圆。下面以平行于水平坐标面 *XOY* 的圆的正等测轴测图为例，介绍两种画椭圆的方法。

（1）坐标法 把圆作为平面曲线，用坐标法作出圆上一系列点的正等测投影，然后光



a) b)



c) d) e)

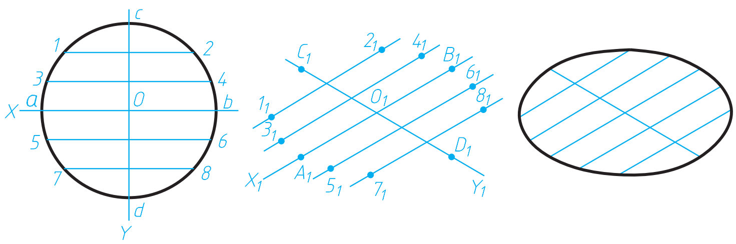
图 4-8　用叠加法画立体正等测轴测图

滑地连接起来，即得圆的轴测图。圆上一系列点是用作一系列平行弦的方法绘制的，故这种方法也称为平行弦法。这种方法作图比较精确，但作图烦琐。具体作图步骤如下：

1）确定坐标轴，并在图上作适当数量的与 X 轴平行的弦，如图 4-9a 所示。

2）画轴测轴，分别作平行弦端点的轴测图，如图 4-9b 所示。

3）把各点光滑连接起来，即得到圆的正等测轴测图，如图 4-9c 所示。



a) b) c)

图 4-9　用坐标法画圆的正等测轴测图

（2）四心圆弧法　四心圆弧法是一种近似画法，它用四段圆弧光滑连接起来，代替椭圆曲线。现以平行于 XOY 坐标面的圆为例，具体作图步骤如下：

1）确定坐标轴和坐标原点，并作圆的外切正方形，如图 4-10a 所示。

2）画轴测轴和圆外切正方形的轴测图（菱形），如图 4-10b 所示。

3）连接 O_2C_1、O_2B_1，并求其与菱形长对角线交于点 O_3 和 O_4，即为画椭圆小圆弧的圆

心，如图 4-10c 所示。

4）以 O_1、O_2 为圆心，O_1A_1、O_2B_1 为半径画大圆弧 A_1D_1 和 C_1B_1，再以 O_3、O_4 为圆心，O_3A_1、O_4B_1 为半径画小圆弧 A_1C_1 和 B_1D_1，与大圆弧相切，即为椭圆，如图 4-10d 所示。

当圆所在平面平行于坐标面 XOZ 和 YOZ 时，其轴测图椭圆的作图方法与图 4-10 作图方法相似，不同的地方是圆所在的平面平行于坐标面 XOZ 时，其外切正方形的边应分别平行于 OX 和 OZ 轴，当圆所在的平面平行于 YOZ 坐标面时，其外切正方形的边应分别平行于 OY 和 OZ 轴。分别平行于三坐标面的圆，如果它们的直径相等，其正等测轴测图是三个大小相等的椭圆，只是长轴的方向不同。

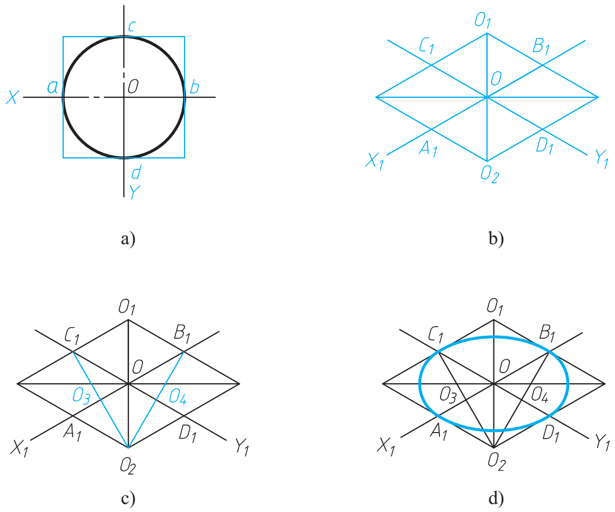


图 4-10　用四心圆弧法画圆的正等测轴测图

根据理论分析，在 XOY 坐标面上的圆的轴测投影椭圆，长轴垂直于轴测轴 O_1Z_1；在 XOZ 坐标面上的圆的轴测投影椭圆，长轴垂直于轴测轴 O_1Y_1；在 YOZ 坐标面上的圆的轴测投影椭圆，长轴垂直于轴测轴 O_1X_1。各椭圆的短轴垂直于长轴。与坐标面平行的圆，亦有相同的性质。

平行于各坐标面的圆的正等测轴测图如图 4-11 所示。

2. 圆柱正等测画法

如图 4-12a 所示，圆柱的轴线垂直于水平面，顶面和底面平行于水平面，在将要画出的圆柱的轴测图中，其顶面为可见，故取顶圆中心为坐标原点，使 Z 轴与圆柱的轴线重合。

1）作正等测的轴测轴 $O_1X_1Y_1Z_1$，分别在 X_1、Y_1 轴上截取长度 d，作菱形；画椭圆，如图 4-12b 所示。

2）从顶面椭圆中心和位于椭圆前面三段圆弧的圆心沿 Z_1 轴方向向下量取圆柱的高 h，确定圆柱底面椭圆中心和三段圆弧的中心，据此作出底面前半个椭圆，如图 4-12b 所示。

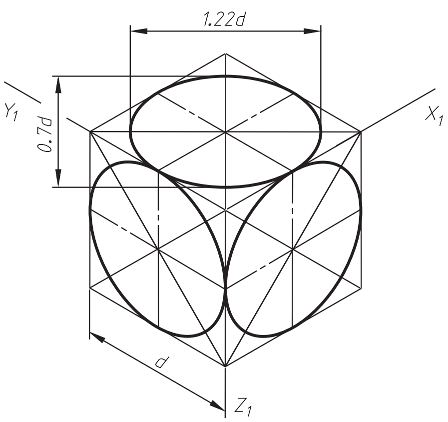
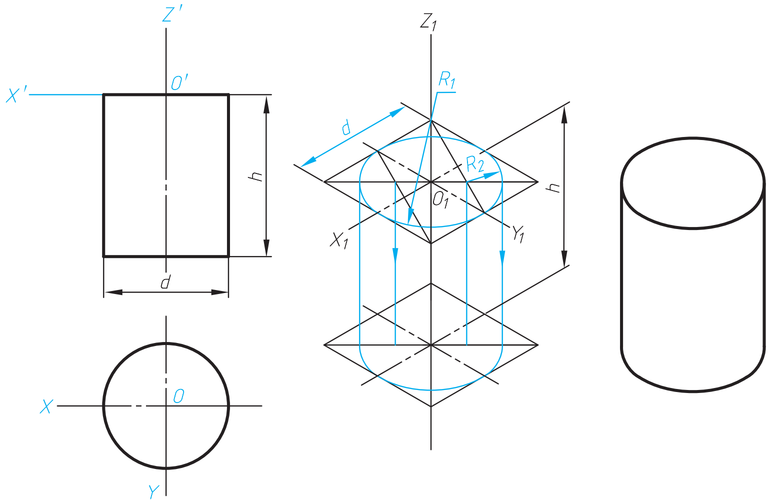


图 4-11　平行于各坐标面圆的正等测轴测图

3）作出上、下两椭圆的外公切线。

4）检查、加粗描深，得到完整的圆柱体的正等测轴测图，如图 4-12c 所示。

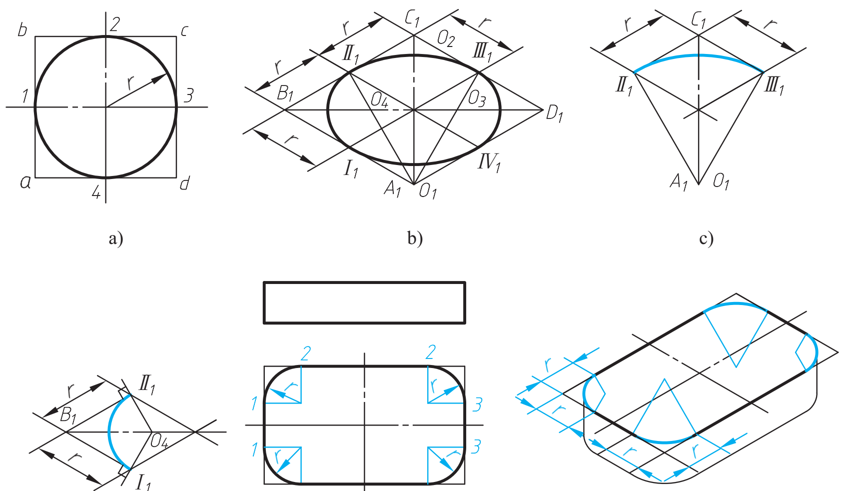


a)　　b)　　c)

图 4-12　圆柱正等测画法

3. 圆角的正等测画法

组合体上的底板往往有不同大小的圆角，这些圆角实际上都是圆柱面的一部分，在多面正投影图中为圆弧，而在轴测图中就成为椭圆的一部分，如图 4-13 所示。



a)　　b)　　c)

d)　　e)　　f)

图 4-13　圆角的正等测画法

在圆的水平投影中，如图 4-13a 所示，12、23、34、41 各段圆弧，其轴测投影分别对应着该圆的轴测投影上椭圆的 $\mathrm{I}_1\mathrm{II}_1$、$\mathrm{II}_1\mathrm{III}_1$、$\mathrm{III}_1\mathrm{IV}_1$、$\mathrm{IV}_1\mathrm{I}_1$ 各段圆弧，椭圆中的这四段圆弧的圆心分别为 O_4、O_1、O_3、O_2，半径为 R_1（$O_1\mathrm{II}_1$）和 R_2（$O_3\mathrm{III}_1$）。从图 4-13b 中不难

看出，Ⅰ$_1$、Ⅱ$_1$、Ⅲ$_1$、Ⅳ$_1$ 各点恰是外接菱形各边上的中垂线的垂足，则各段大、小圆弧的中心就可以定出来了，各段圆弧的画法也就解决了，如图 4-13c、d 所示。图 4-13e、f 所示为带圆角的矩形底板的正等测轴测图的具体作图方法。

4.2.4 组合体的正等测画法

例 4-4 画出轴承座的正等测轴测图。

分析 如图 4-14a 所示，轴承座是由底板、圆筒、支撑板和肋板四部分组成的，其中支撑板的宽度和圆筒直径相等，即表面相切，肋板上表面与圆筒外周下侧部分重合、肋板下表面与底板上侧重合，只要圆筒与底板的相对位置确定了（从投影图上可直接量出），支撑板和肋板的高度就完全可以确定。

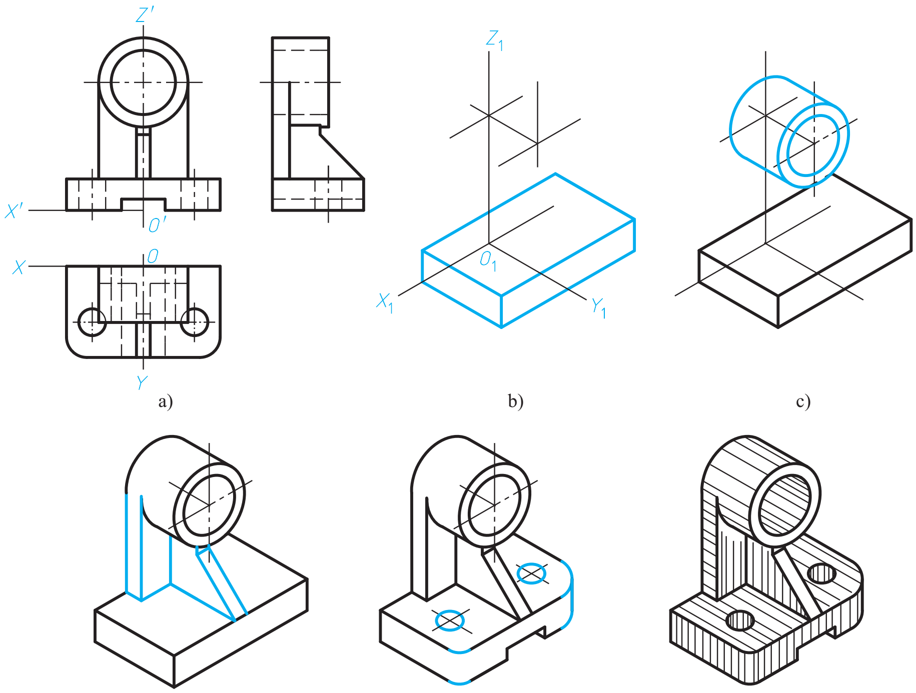


图 4-14 组合体的正等测轴测图画法

作图 如图 4-14 所示。

1）以底板后面的底部中点作为坐标原点，画出轴测轴及底板的轮廓，如图 4-14b 所示。再根据正投影中圆筒的前后两端面圆心的位置，在轴测图中画出圆筒前、后两端面的中心位置。

2）用四心圆弧法由前向后作出圆筒的外形及圆孔，如图 4-14c 所示，注意圆筒前后端面平行于 *XOZ* 坐标面。

3）画出支承板和肋板的轴测图，其中支承板与圆筒表面相切没有交线，如图 4-14d 所示。

4）画出底板上的两个小孔、底板前面的圆角及底板底部中间的前后通槽，如图 4-14e

所示。

5）检查、加粗描深和适当的润饰，完成全图，如图 4-14f 所示。

4.3 斜二测轴测图的画法

斜轴测图是指投射方向 S 与轴测投影面 P 倾斜的轴测投影，从图 4-15 可以看出，当 XOZ 坐标面与轴测投影面 P 平行时，所得到的投影有两个轴向伸缩系数相等（$p_1=r_1$）的斜轴测投影图，即斜二等轴测投影，简称斜二测。

4.3.1 轴间角和轴向伸缩系数

从图 4-15 可以看出，当轴测投影面 P 平行于坐标面 XOZ 时，物体上所有平行于 XOZ 坐标面的平面，其轴测投影均反映实形，也就是沿 X_1 和 Z_1 的轴向伸缩系数都等于 1，即 $p=r=1$，两轴的轴间角为 90°。因为投射方向 S 对投影面的倾角是任意的，一般取沿 Y 轴的轴向伸缩系数 $q=0.5$，轴间角 $\angle X_1O_1Y_1=135°$，即 Y_1 轴与水平线成 45°，如图 4-16a所示。这样设定使作图方便，且具有较强的立体感。

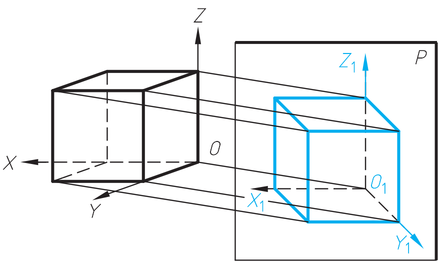


图 4-15 斜二测轴测图的形成

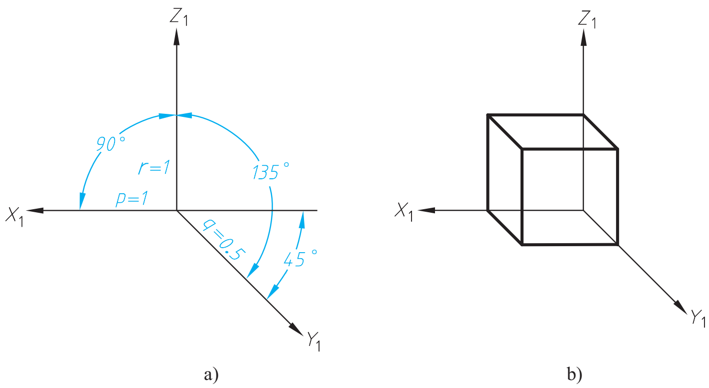


图 4-16 斜二测轴测图

4.3.2 组合体的斜二测画法

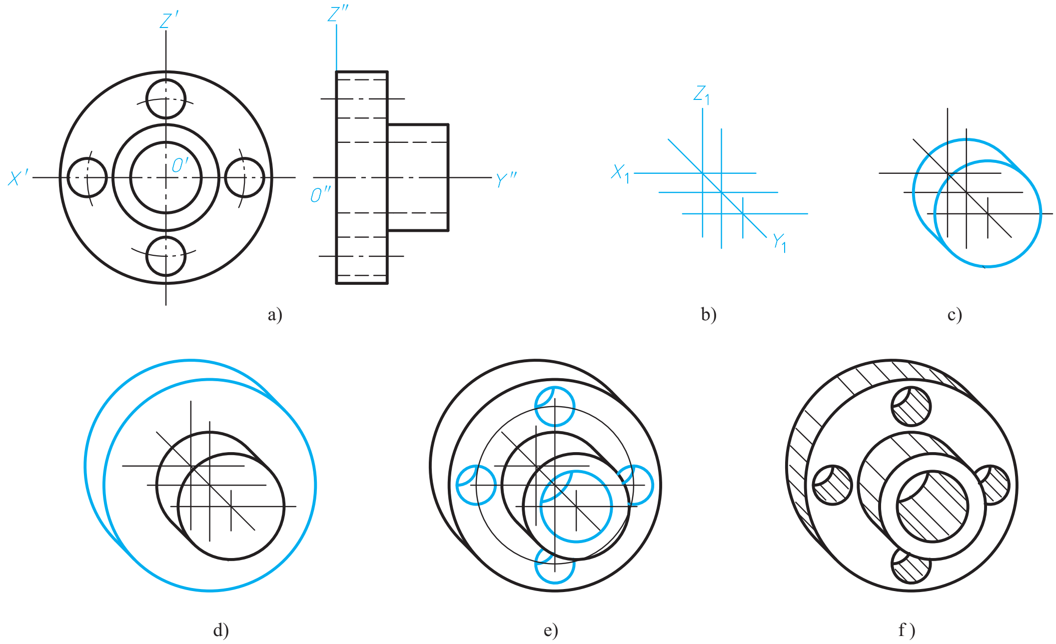
因为斜二测图上有一个轴测坐标面上的图形反映物体相应表面的实形，因此对于仅有一个坐标面（或平行于坐标面）方向上的形状有圆或圆弧的物体，用斜二测画图最为方便。

例 4-5 用斜二测画出如图 4-17a 所示的圆盘类组合体。

分析 该组合体形似圆盘，并且具有多个圆平行于某平面，取其中一个平面作为 XOZ 坐标面（即多个圆的投影结果仍为圆，作图更简单），可采用斜二测的方法画出。

作图 如图 4-17 所示。

1）在正投影图上设置坐标轴，然后画出斜二测的轴测轴，并定出各圆圆心的位置，注意沿 Y_1 轴方向的伸缩系数为 0.5，如图 4-17b 所示。



a) b) c) d) e) f)

图 4-17　圆盘斜二测轴测图的画法

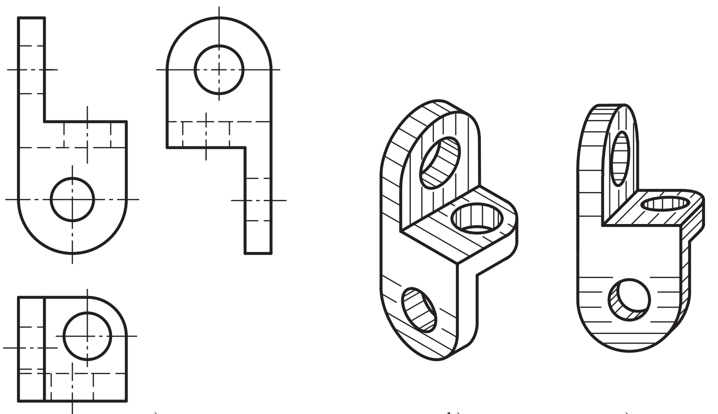
2）画出前面圆柱的斜二测轴测图，如图 4-17c 所示。

3）画出后面圆盘的斜二测轴测图，如图 4-17d 所示。

4）画出中间圆孔及四个小圆孔的斜二测轴测图，注意不要漏画各孔底部的圆，如图 4-17e所示。

5）检查、加粗描深，最后完成圆盘的斜二测轴测图，如图 4-17f 所示。

如果组合体上几个坐标面内都有圆时，此时不宜采用斜二测画法，而采用正等测图画圆较为简单，如图 4-18b 所示。



a) b) c)

图 4-18　正等测图与斜二测图的比较

第5章

组 合 体

任何机械零件，从几何形体的角度分析，都可看成是由棱柱、棱锥、圆柱、圆锥、圆球及圆环等基本几何形体按照一定的规律组成的。由多个基本几何形体按照一定的组合方式形成的新的复杂形体称为组合体。本章将介绍组合体的画法、尺寸标注及其读图方法，为绘制零件图奠定基础。

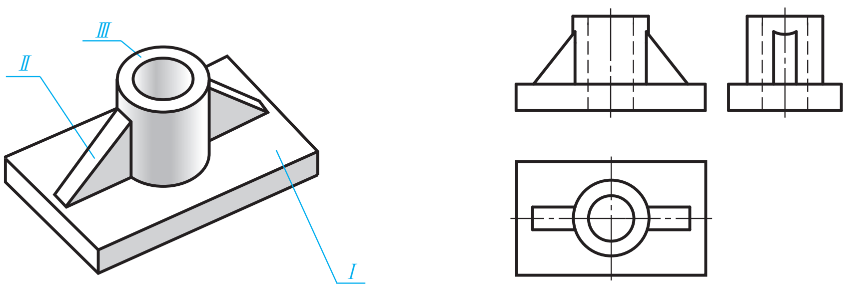
5.1 组合体的基本知识

5.1.1 组合体的组合方式

组合体的组合方式可分为叠加、切割和两者的综合。

1. 叠加式组合体

叠加式组合体由基本几何形体叠加形成。如图5-1a所示的组合体是由底板Ⅰ、楔形块Ⅱ、空心圆柱Ⅲ叠加而成的。图5-1b所示为其三面投影图。



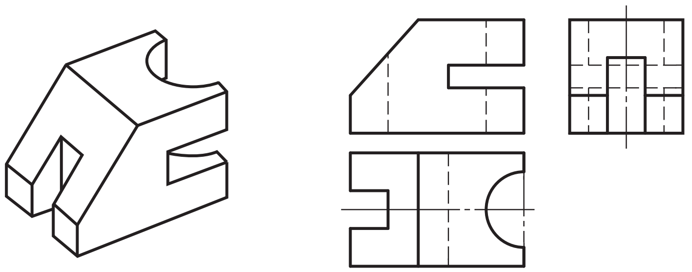
a) 立体图　　b) 视图

图5-1　叠加式组合体

2. 切割式组合体

切割式组合体是由完整的立体经切角、挖槽或开孔等形成的。如图5-2a所示的组合体是从一个四棱柱左上部切去一角，在左端挖去一个梯形块，右侧挖去一个长方体之后，又挖去两个半圆柱而形成的。图5-2b所示为其三面投影图。

实际上，在许多情况下，复杂的组合体往往是既有叠加又有切割的综合形式，因此分析组合体的组合形式应以便于作图和分析理解为原则。



a) 立体图　　b) 视图

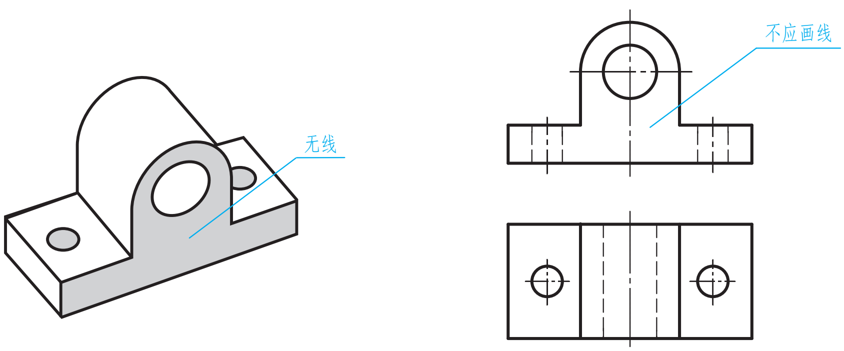
图 5-2　切割式组合体

5. 1. 2　组合体相邻表面间的连接关系

根据组合体上各个基本形体相对位置不同，其相邻表面连接关系可分为：平齐、相错、相交和相切等。

1. 平齐

当两个基本形体在某个方向上的相邻表面处于同一个平面（或曲面）时，称为平齐。此时两表面间不存在分界线，投影图中不应画线，如图 5-3 所示。



a) 立体图　　b) 视图

图 5-3　表面平齐的画法

2. 相错

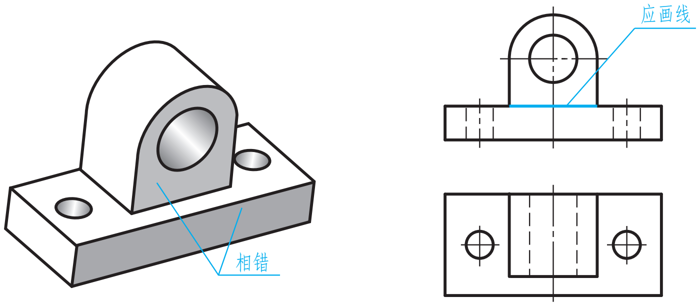
当两个基本形体在某个方向的相邻表面是互相错开的，称为相错。此时两表面就有前后、左右、上下之分，投影时应在相应处画出分界线，如图 5-4 所示。

3. 相交

当两个基本形体的相邻表面相交时，相交处应正确画出交线，如图 5-5 所示。

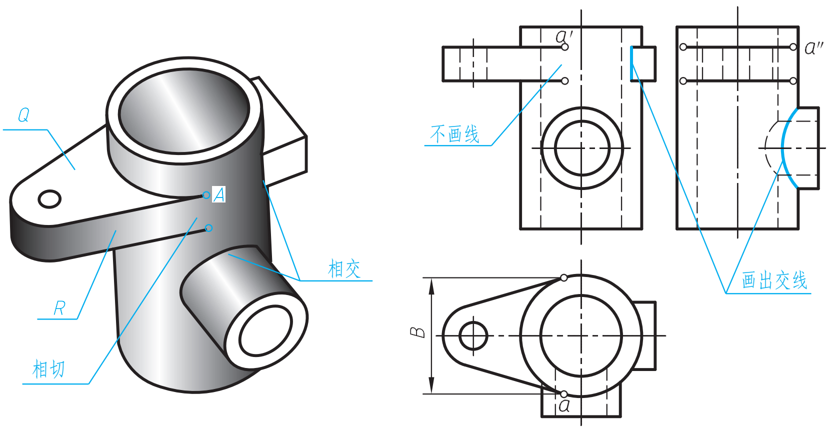
4. 相切

当两个基本形体的相邻表面由平面和曲面或曲面和曲面光滑连接时，即为相切。



a) 立体图　　b) 视图

图 5-4　表面相错的画法



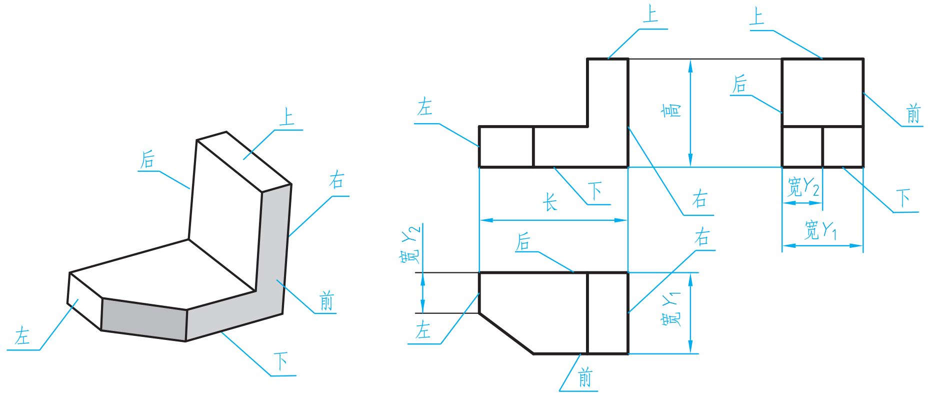
a) 立体图　　b) 视图

图 5-5　表面相交和相切的画法

由于相切处是光滑的过渡，不存在分界线，所以在投影图中不应在相切处画线。如图 5-5 所示，平面 R 与圆柱面相切，在主视图中不应画出切线的投影，而平面 Q 的正面投影应画到切点 A 的正面投影 a'，平面 Q 的侧面投影应根据投影规律依尺寸 B 画至 a''处。

5.1.3　组合体的三视图

在工程制图中，按正投影原理将组合体向投影面投射，得到的投影图称为视图。其中，正立投影面 V 上的投影图称为主视图；水平投影面 H 上的投影图称为俯视图；侧立投影面 W 上的投影图称为左视图。三视图之间存在着一定的关系和规律：主视图反映物体的长度和高度；俯视图反映物体的长度和宽度；左视图反映物体的高度和宽度。主视图、俯视图长对正；主视图、左视图高平齐；俯视图、左视图宽相等。简称“长对正，高平齐，宽相等”。如图 5-6a 所示的组合体，其三视图如图 5-6b 所示。



a) 立体图　　b) 视图

图 5-6　组合体的三面投影图

5.2　组合体三视图的画法

画组合体三视图时，首先要对组合体进行形体分析。所谓形体分析，就是假想把较复杂的组合体分解为若干个基本形体，分析这些基本形体的形状、相对位置、组合方式及相邻表面间连接关系的一种分析方法。然后选择主视图方向，合理布图，进而逐步完成三视图。

下面以图 5-7 所示的支承座为例，介绍画组合体三视图的方法和步骤。

1. 形体分析

如图 5-7 所示的支承座，按形体分析法可以看成是由圆柱筒 1、肋板 2、支承板 3 和底板 4 四个基本形体组成的，如图 5-8 所示。

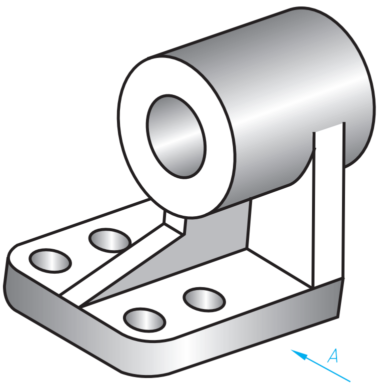


图 5-7　支承座

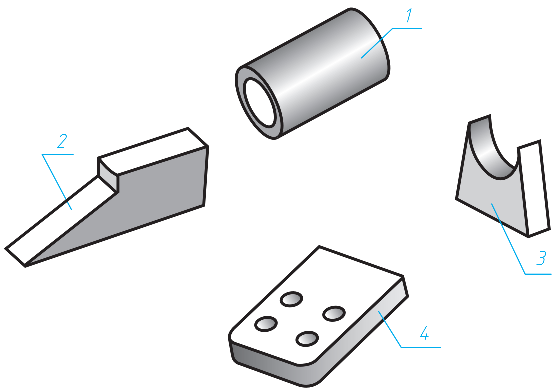


图 5-8　支承座形体分析

它们的组合形式为：底板水平放置，肋板前后居中放置在底板上，其斜面的左侧棱边与底板左端面对齐；支承板叠加在底板上，其左端面与肋板右端面共面，右端面与底板右端面共面，并且其底面与底板宽度相同；圆柱筒叠加在肋板与支承板上，其中，肋板与圆柱筒外表面相交，而支承板前后端面与圆柱筒外表面相切，支承板的左右端面与圆柱筒外表面相交。

2. 确定主视图

主视图投射方向的选取原则：一是最大限度地反映组合体的形状特征和各基本形体间的

主要相互位置关系；二是使其放置平稳；三是使其他两个视图上投影细虚线尽可能地少以及合理利用图幅。根据此原则，在图 5-7 中以 *A* 所示方向为主视图投射方向。

3. 选取比例并确定图幅

根据组合体的实际大小，在结构表达清楚的前提下，选取合适的绘图比例。根据组合体的长、宽、高计算出三个视图所占面积，并在各视图之间留出标注尺寸的位置。据此选用合适的标准图幅。

4. 布置图面并画作图基准线

作图基准线是确定基本形体在组合体中位置的线或面的投影，一般用细实线或细点画线绘制。常用对称中心线、轴线和较大平面的投影积聚线作为作图基准线。如图 5-9a 所示，

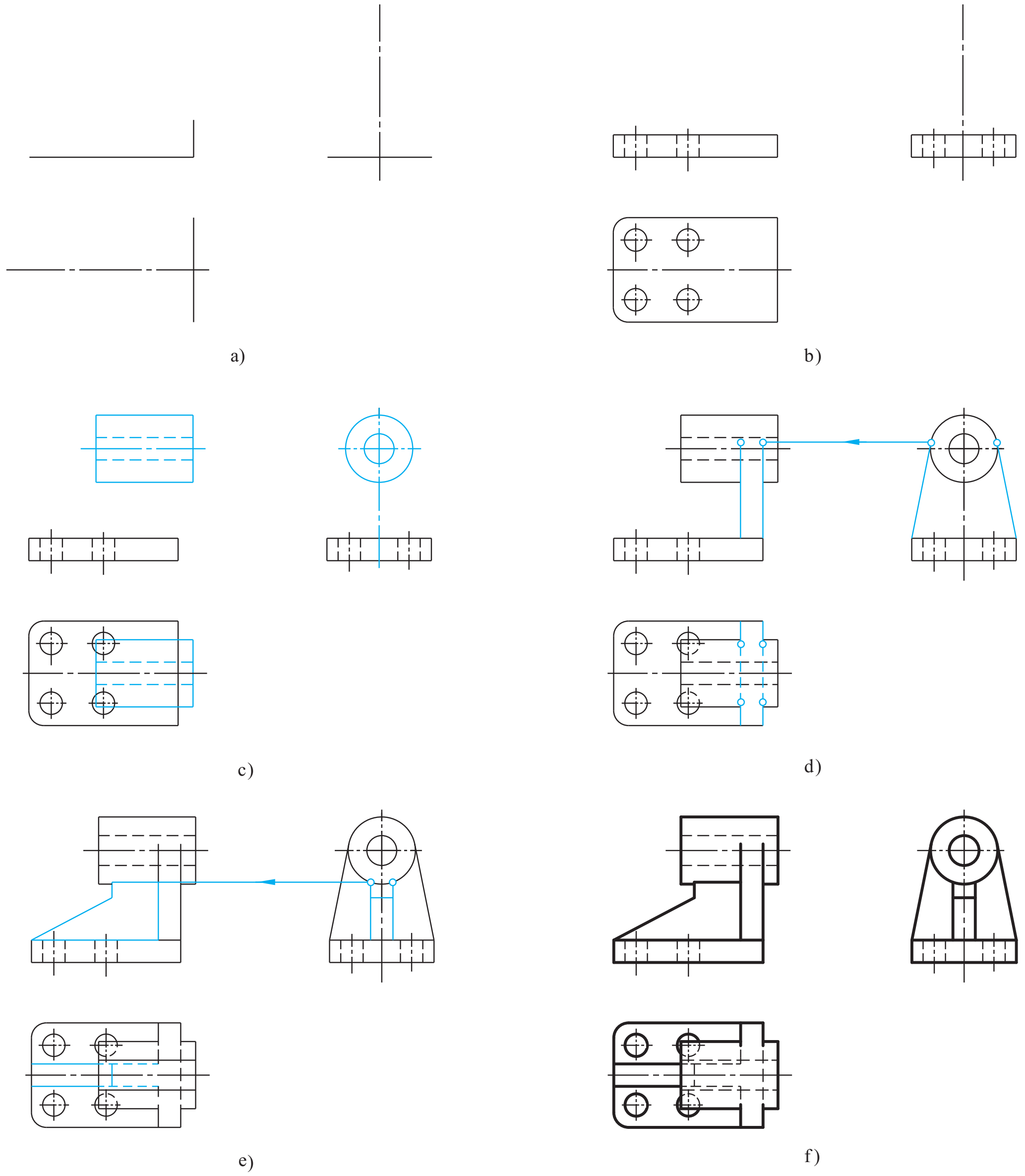


图 5-9　支承座三视图的画法

在该例中，以底板的右端面作为长度基准，以底板的下底面作为高度基准，以组合体的前后对称面作为宽度基准。主视图反映组合体的长度和高度，因此以底板的右端面与下底面的主视图投影作为主视图中的基准线；俯视图反映组合体的长度和宽度，因此以底板的右端面与组合体对称面的俯视图投影作为俯视图中的基准线；左视图反映组合体的宽度和高度，因此以组合体对称面与底板下底面的左视图投影作为左视图中的基准线。

5. 依次画出各基本形体的三视图

根据各形体的投影特点以及各形体间的位置关系，逐个画出每个形体的三视图。对于基本形体，要从反映其形状特征的视图画起，各视图对应画。①由于圆柱筒、肋板、支承板叠加在底板上，因此先画底板三视图，如图 5-9b 所示；②由于圆柱筒与肋板相交，与支承板既有相交又有相切位置关系，只有先画出圆柱筒才能确定肋板与支承板的表面位置，因此第二个应画圆柱筒的三视图，如图 5-9c 所示；③接着画支承板，此时先画支承板的左视图，根据投影关系画出主视图和俯视图，注意其主视图的高度与俯视图宽度的画法，如图 5-9d 所示；④最后画肋板，肋板也应从左视图画起，如图 5-9e 所示。

6. 检查与描深

画好组合体底稿，按基本形体逐个仔细检查，注意组合体的整体性，按整体取舍图中有关图线。如图 5-9e 中，肋板与圆柱筒相交后组成整体，主视图中就不应在相交部分画出圆柱的轮廓线。检查无误后加粗描深所画视图，如图 5-9f 所示。

例 5-1 画如图 5-10 所示滑块的三视图。

如图 5-10 所示的滑块是切割式组合体，可看成是右端为半圆柱面的长方体，在左上角切去三棱柱Ⅰ，再挖去梯形块Ⅱ，在右端挖去带半圆柱面的长方块Ⅲ和两个相同的圆柱体Ⅳ后形成的。

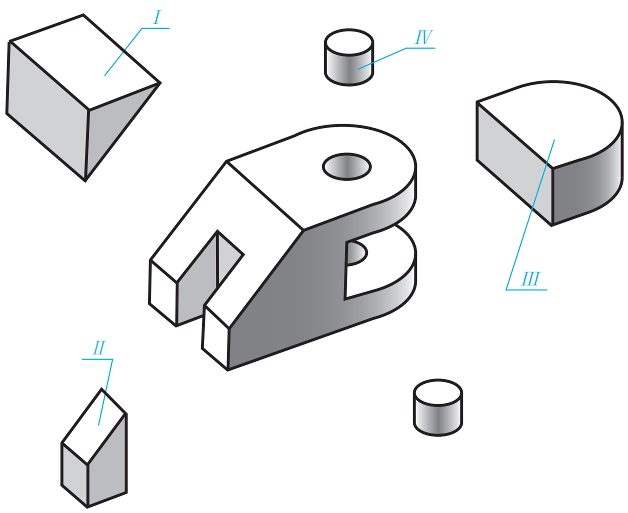


图 5-10 滑块

画这类组合体的三视图时，一般先画出未挖切前完整的基本形体的三视图，然后再逐一画出被切去的形体。对于每一个被切割的部位应从具有积聚性的视图画起。滑块的具体画图步骤如图 5-11 所示。

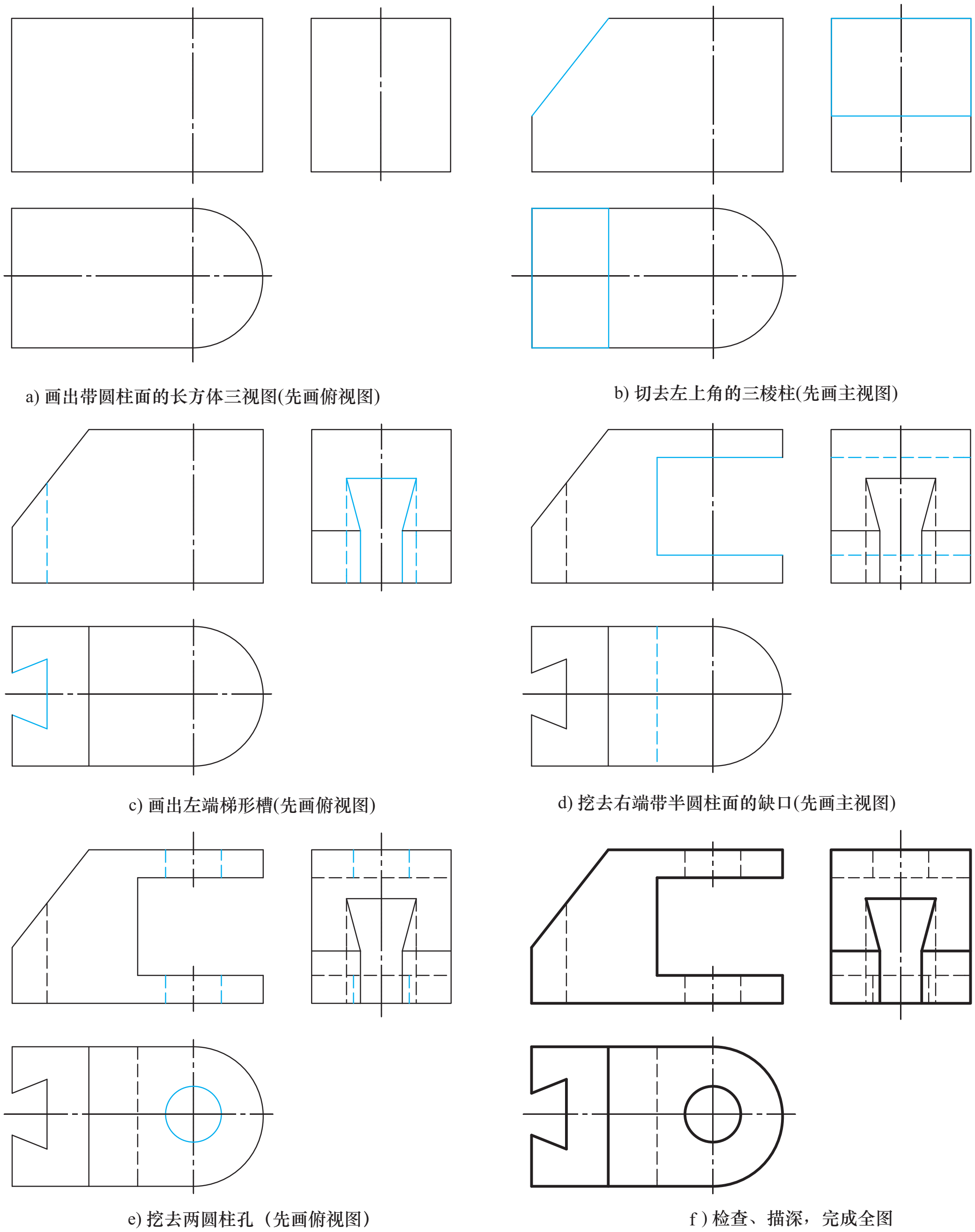


图 5-11　滑块三视图画图步骤

5.3　组合体的尺寸注法

组合体的视图只能表示其结构形状，而组合体的大小则要通过标注尺寸来确定。组合体标注尺寸总的要求是：正确性、完整性、清晰性。

尺寸标注的正确性，是指所注尺寸应符合《技术制图》国家标准中有关尺寸注法的规定。尺寸标注的完整性，是指所注尺寸应将组合体的各部分形体的大小及它们的相对位置完全、确切地表示出来，不能遗漏或重复。尺寸标注的清晰性，是指尺寸布置恰当，尺寸注写在反映组合体形体特征最明显的视图上，便于看图。

5.3.1 基本形体的尺寸注法

为了掌握组合体的尺寸标注，应首先熟悉基本形体的尺寸注法。基本形体的尺寸一般要注出长、宽、高三个方向的尺寸。常见的基本形体的尺寸注法如图 5-12 所示。其中，对于正六棱柱，因底面正六边形的对角线和对边距离有确定的几何关系，所以两者可只注其一，另一尺寸可用参考尺寸形式（用括号括起来）注出；圆柱和圆锥，需要注出底圆直径和高度尺寸，而圆球只需注出直径尺寸。

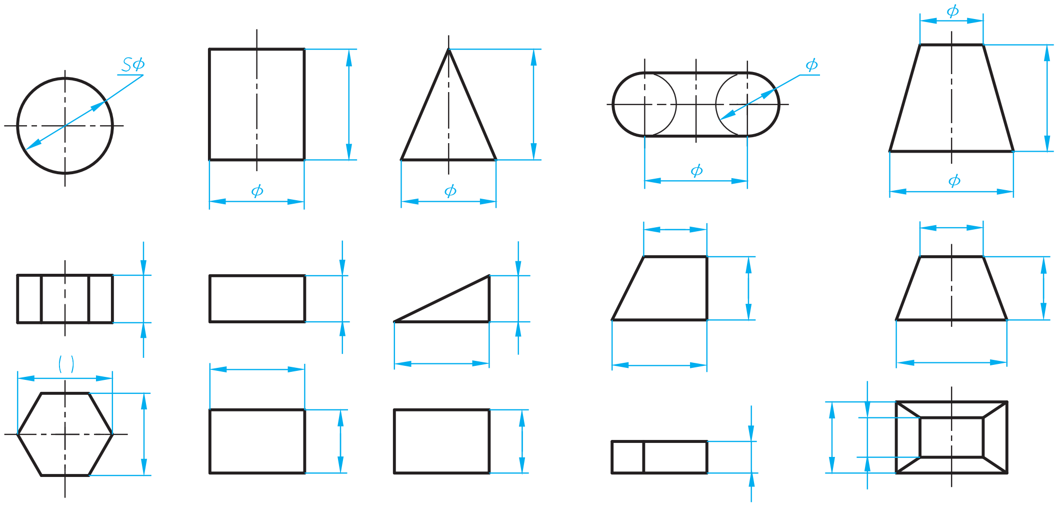


图 5-12　常见基本形体的尺寸注法

5.3.2 基本形体被截切和相交的尺寸注法

标注带有切口的基本形体尺寸时，要注出基本形体的尺寸和确定截平面位置的尺寸，如图 5-13 所示。注意截交线上不应标注尺寸。因为当形体大小和截平面位置给定后，截交线也就确定了。

标注两个基本形体相交尺寸时，应注出基本形体的尺寸和确定两相交形体之间相对位置的尺寸，如图 5-14 所示。而相贯线上不应注出尺寸，因为它们的形状、大小和相互位置确定之后，相贯线自然也就确定了。

5.3.3 组合体的尺寸注法

组合体尺寸标注要保证完整，应标注三方面的尺寸，即定形尺寸、定位尺寸和总体尺寸。定形尺寸是确定各基本形体形状大小的尺寸；定位尺寸是确定各基本形体之间相对位置的尺寸；总体尺寸是组合体的总长、总宽和总高尺寸。

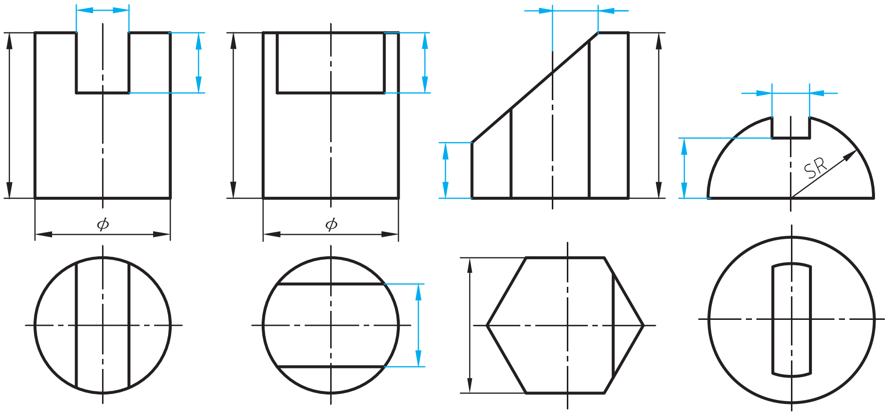


图 5-13　基本形体被截切的尺寸注法

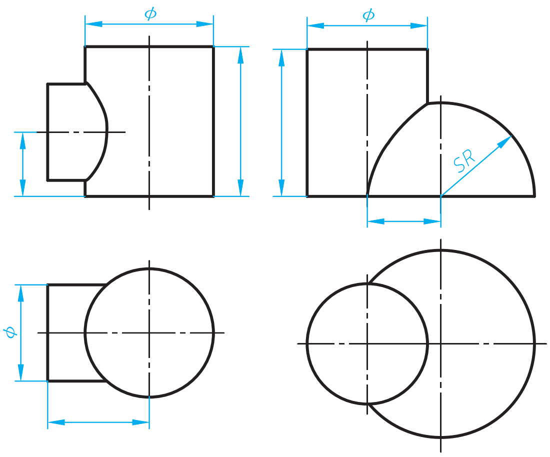


图 5-14　基本形体相交的尺寸注法

标注组合体尺寸时，要应用形体分析方法，分别注出各基本形体的定形尺寸和确定各基本形体之间的相对位置的定位尺寸，最后注出组合体长、宽、高的总体尺寸。

必须指出，在标注各部分之间的定位尺寸时，要先在组合体的长、宽、高三个方向上各选定一个标注尺寸的出发点——尺寸基准。通常选用组合体的对称面、底面、大的端面或轴线等作为尺寸基准。

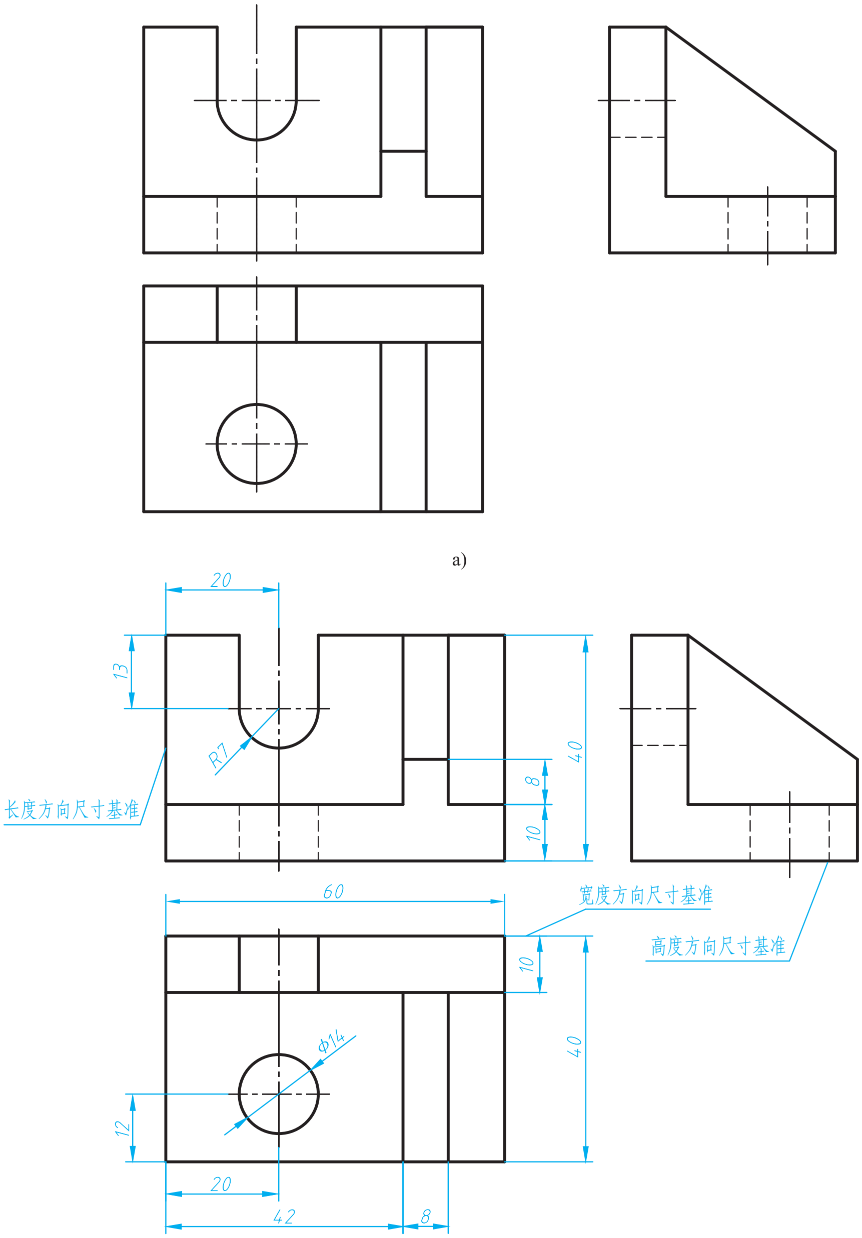
下面通过两个例题说明标注组合体尺寸的方法和步骤。

例 5-2　标注出图 5-15a 所示组合体的尺寸。

组合体由带有圆孔的长方体底板、带有 U 形槽的长方体立板和梯形肋板叠加而成。对其进行尺寸分析，并标注其尺寸，如图 5-15b 所示。

1. 定形尺寸

底板长 60、宽 40、高 10，圆孔直径 ϕ14；立板长（60）、宽 10、高（30）；U 形槽半径 R7，方槽深度 13；肋板长 8、宽（30）、前端面高 8、后端面高（30）。其中底板、立板的长度一致（60），立板、肋板的后端面高度一致（30），肋板宽度（30）等于底板宽度减去立



a)　b)

图 5-15　组合体尺寸注法示例（一）

板宽度。这三个尺寸属于重复定形尺寸，数字上加括号。

2. 定位尺寸

长度方向主要定位基准为底板的左端面；宽度方向主要定位基准为底板的后端面；高度方向主要定位基准为底板的下底面。因此，圆孔长度方向定位尺寸为 20，宽度方向定位尺寸为 12；U 形槽长度方向定位尺寸为 20，高度方向定位尺寸为 13；肋板长度方向定位尺寸为 42。

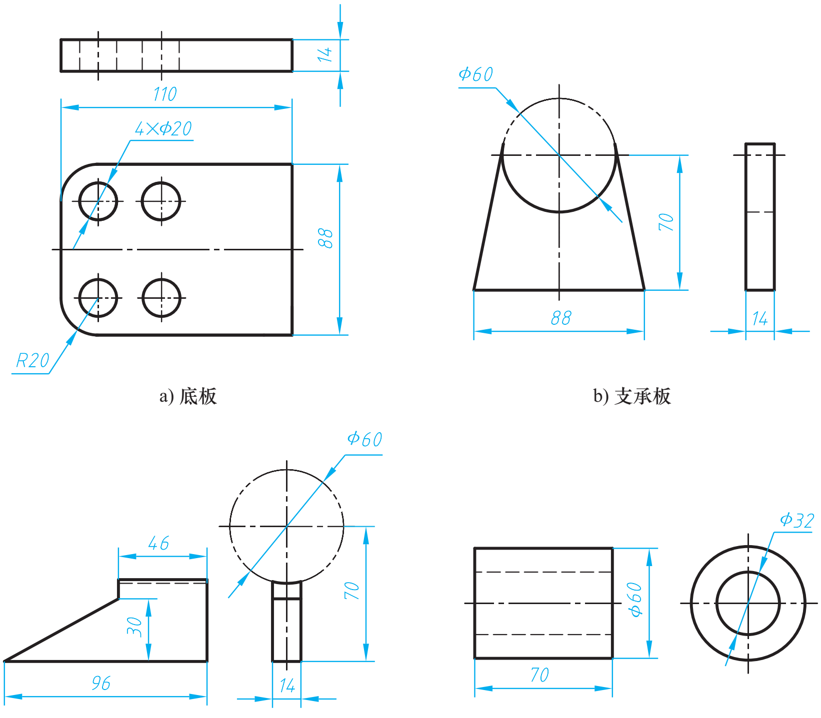
3. 总体尺寸

总长（60）、总宽（40）与底板长度、宽度一致；总高 40，等于立板与底板高度之和。

例 5-3 标注出如图 5-7 所示支承座的尺寸。

1. 进行形体分析，标注定形尺寸

支承座分成底板、支承板、肋板和圆筒。各部分定形尺寸如图 5-16 所示，如底板为 110、88、14、$R20$ 及 $4\times\phi20$ 五个尺寸，支承板有 14、88、70 和 $\phi60$ 四个尺寸，肋板有 96、46、14、70、$\phi60$、30 六个尺寸，圆筒有 70、$\phi60$、$\phi32$ 三个尺寸。



a) 底板　　b) 支承板

c) 肋板　　d) 圆筒

图 5-16　支承座各基本形体定形尺寸

2. 选定尺寸基准，标注定位尺寸

选择底板底面为高度方向尺寸基准；底板和支承板的右端面为长度方向尺寸基准；支承座前后对称面为宽度方向尺寸基准，如图 5-17 所示。

圆筒高度方向的定位尺寸 84，是由高度方向基准到圆筒轴线之间注出的，圆筒长度方向定位尺寸是 6，定出圆筒和底板在长度方向的相对位置。底板上四个小孔作为一组孔，在长度方向的定位尺寸是 58，尺寸 32 是两小孔之间的长度方向相对位置尺寸，它们的定位基准为右边小孔的中心，而并非底板的右端面。所以在一个方向上除了一个主要基准外，还可以有一个或几个辅助基准。尺寸 48 是底板上小孔宽度方向的定位尺寸。由于支承座前后对称，各组成部分在宽度方向的对称面与支承座对称面重合，因此，它们在宽度方向上无须再标注定位尺寸。

3. 综合分析，标注总体尺寸

各部分的定形尺寸反映在支承座上，有的尺寸重合在一起，则应只标一次，如底板和支承板的宽度 88，支承板、肋板和圆筒的 $\phi60$；有的尺寸可由其他尺寸计算得到或隐含在其他尺寸之中，就不应再注出，如支承板尺寸 70 及肋板尺寸 96 等。

支承座的总体尺寸为：总宽尺寸 88；总长尺寸由 110（底板长度）和圆筒定位尺寸 6 确定；总高尺寸由定位尺寸 84 及 $\phi60$ 确定。

5.3.4 标注尺寸时应注意的问题

尺寸标注除正确、完整外，还要求标注得清晰、明显，以利于看图，因此应注意下述几点：

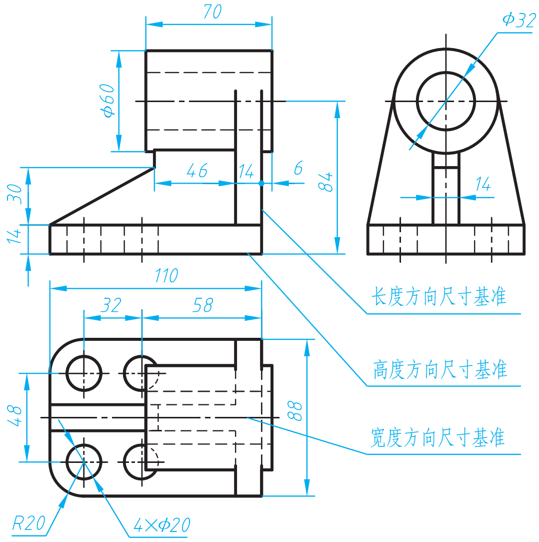


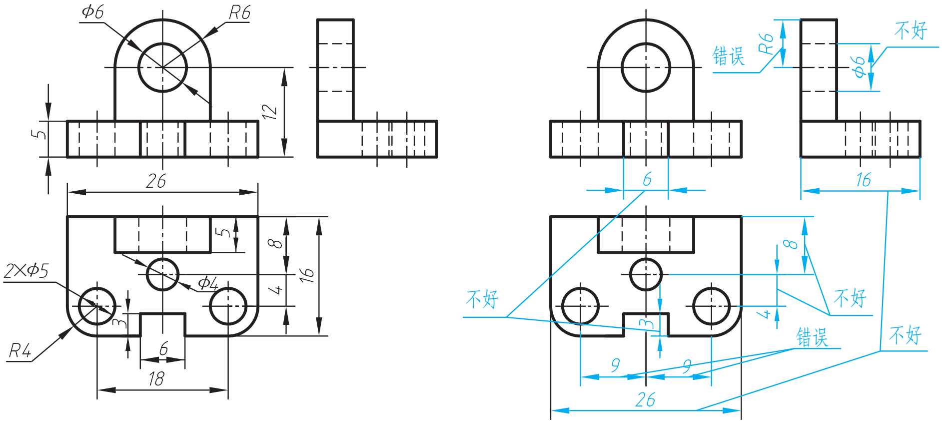
图 5-17　支承座的尺寸注法

1）尺寸应尽可能注写在反映形体特征最明显、位置特征较清楚的视图上。有关同一基本形体的定形尺寸和定位尺寸尽可能集中标注在反映形状和位置特征明显的同一视图上，以便于看图。如图 5-18a 所示，底板的长 26 和宽 16 以及槽的长 6 和宽 3 均应注在俯视图上。若槽长 6 注在主视图上则不好（图 5-18b）。支承座（图 5-17）中圆筒的直径 $\phi60$ 和长 70 都注在主视图上就比较集中。

2）为保持图形清晰，尺寸尽量注在图形的外面，尺寸排列整齐，小尺寸在里，大尺寸在外，尽量避免尺寸线与尺寸界线相交，并布置在相关投影图之间，如图 5-17 中的尺寸 32、58 和 110 。有时为了防止或避免尺寸界线太长或与其他图线相交，而且当图形有足够空间能清晰地注写尺寸数字时，也可注在视图内，如图 5-18a 中，俯视图的尺寸 5 和 $\phi4$。

3）直径尺寸尽量注在投影为非圆的视图上，如图 5-17 中圆筒外径尺寸 $\phi60$ 最好注在主视图上。

4）小于或等于半圆的圆弧半径尺寸一定注在反映圆弧实形的视图上，如图 5-18a 中底板上 *R*4 应注在俯视图上，立板上的 *R*6 则应注在主视图上。



a) 正确　　　　b) 不好或错误

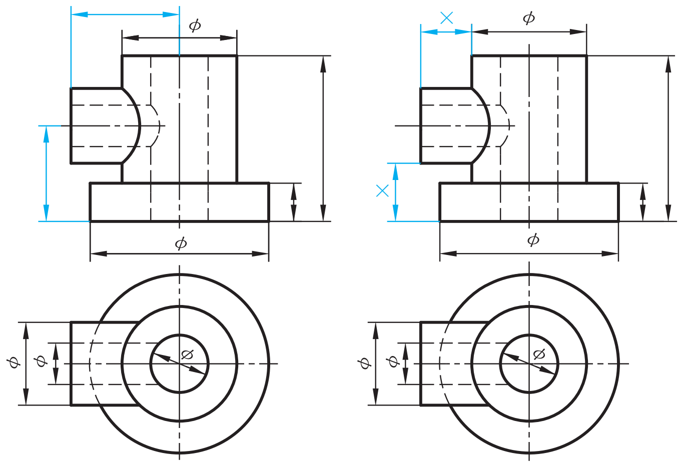
图 5-18　组合体尺寸注法示例（二）

5）尽量避免在虚线上标注尺寸，如图 5-17 中圆筒内径 $\phi32$ 应注在左视图上。

6）相关的线性尺寸应布置在一条线上，如图 5-18a 中孔 $\phi4$ 和 $\phi5$ 的宽度方向定位尺寸 8 和 4 应标在同一条线上。

7）对称尺寸，如无特殊要求，应按对称合一标注，如图 5-18a 中两个 $\phi5$ 孔长度方向的定位尺寸应标注其中心距 18。

8）回转体的轮廓线不能作为尺寸的基准线，如图 5-19 所示的两“×”号尺寸是错误的。



a) 正确　　b) ×为错误

图 5-19　回转体的轮廓线不能作为尺寸基准

5.4　读组合体视图

根据组合体三视图想象出组合体的空间形状，称为组合体读图。读图是画图的逆过程。组合体读图的主要方法是形体分析法和线面分析法。读图过程中，应注意一个视图不能反映组合体的确切形状，有时两个视图也不能确定组合体的全貌。如图 5-20 所示，组合体的主视图和左视图都是相同的，但三个视图联系起来看，它们却是不同结构形状的组合体。因此，读图时要把几个视图联系起来看，不能孤立地看一个视图就臆断组合体的形状。

5.4.1　形体分析法读图

把视图中每个封闭线框看成是某个基本形体的投影，根据投影规律，从图上逐一识别出每个基本形体的投影并想象出它们的空间形状，然后根据它们的组合形式、相对位置及表面间的连接关系，综合想象出组合体的整体形状，称其为形体分析法读图。

下面以读支架视图 5-21a 为例说明形体分析法读图的步骤。

1. 看投影、画线框、分部分

看已知的投影，找出反映组合体各组成部分形状特征较多的视图，在该视图中划分若干个线框，把每个线框看作是某个形体的一个投影。线框的划分应以便于想象出基本形体形状为原则（这种线框内可以有粗实线）。

将图 5-21a 中已知的三个视图联系起来看，从反映形体特征较多的主视图入手，划分为四个线框Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ和Ⅳ，即将其分为四部分。

2. 对投影、识形体

按投影规律对应地找出各部分的其他视图投影。根据各种基本形体的投影特征，想象出各部分形体的形状。

在图 5-21a 中找出每一部分的其他两个视图投影，想象出它们的形状，如图 5-19b、c、d、e 所示，即底板Ⅰ、支承板Ⅱ、圆筒Ⅲ和肋板Ⅳ。

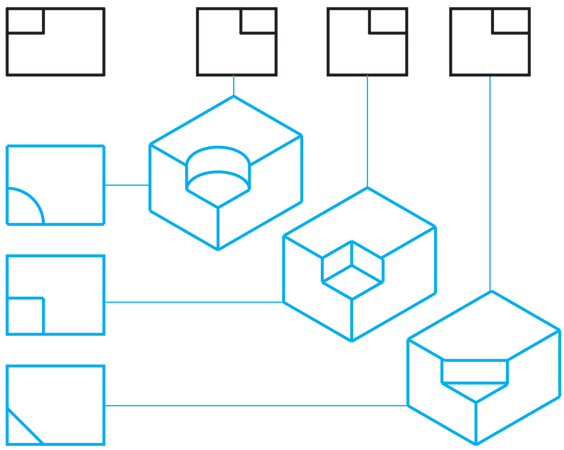


图 5-20　不能只凭个别投影臆断组合体形状

3. 明确相对位置，综合起来想整体

想出各个形体的形状后，进一步分析形体间的前后、左右、上下的相对位置及其表面连接关系、组合方式，最后综合想象出组合体的整体形状。

从图 5-21a 的主视图和左视图可见支架由四部分叠加而成，支承板Ⅱ与底板Ⅰ后面和右侧面平齐，肋板Ⅳ与底板Ⅰ右侧面平齐，圆筒Ⅲ叠加在支承板Ⅱ和肋板Ⅳ上并与支承板Ⅱ后面相错，支承板Ⅱ的左侧斜面（正垂面）与圆筒Ⅲ相切，肋板Ⅳ的左右侧面（侧平面）与圆筒Ⅲ相交，最后综合想象出支架的形状如图 5-21f 所示。

5.4.2　线面分析法读图

通过读支架三视图可见，形体分析法比较适合于对组合体的大体分析或视图中层次较分明、重叠较少的叠加式组合体的读图。对于一些复杂的组合体，特别是切割式组合体，挖切的部分较多，所形成的交线较复杂时，除基本形体能直接按形体分析法读图外，其切口部分难以直接按形体分析法读图，这种情况下通常采用线面分析法读图。从“线和面”的角度去分析组合体的形状，将组合体看成是由若干个面（平面或曲面）围成的，根据线、面的投影特征（如积聚性、实形、类似形），分析各表面的形状和位置，从而想象出组合体的形状，这种方法称为线面分析法读图。

组合体是由线、面组成的，分析视图中各种图线、线框所代表的含义将有助于分析形体的形状。因此，归纳如下（图 5-22）：

1）每一图线（直线或曲线，实线或虚线）可能为下列几何元素的投影：

① 两个表面的交线（如图 5-22 中 *B*）。

② 垂直于投影面的平面（如图 5-22 中 *C*）或垂直于投影面的曲面（如图 5-22 中 *D*）。

③ 曲面的投影轮廓线（如图 5-22 中 *E*）。

2）每一个封闭线框可能表示：

① 一个平面的投影（如图 5-22 中 *F*、*M*、*P*）。

② 一个曲面的投影（如图 5-22 中 *G*）。

③ 平面与曲面（或两曲面）相切的投影（如图 5-22 中 *H*）。

3）相邻的两个封闭线框，表示两个不同表面的投影。相邻两个封闭线框的分界线表示

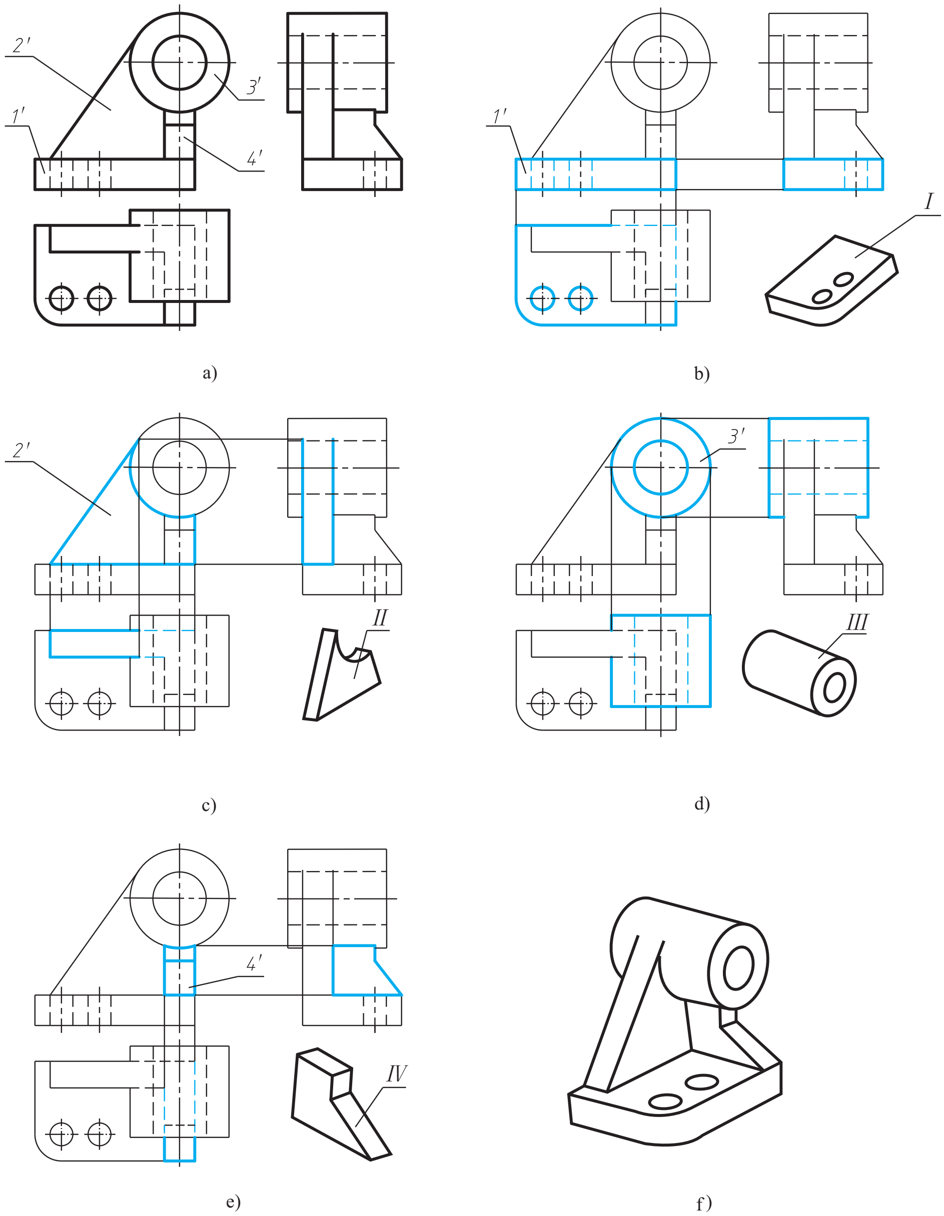


图 5-21　读支架三视图

两表面的交线的投影（如图 5-22 中 *A*）或具有积聚性的第三表面的投影（如图 5-22 中 *K*）。

线面分析法读图一般是在形体分析的基础上进行的，对于形体分析仍难于读懂的，才进行线面分析。

现以读图 5-23a 为例说明线面分析法的读图步骤并补画出其俯视图。

1. 看投影、画线框、分表面

在已知视图上选定几个封闭的线框，把每一个线框看作是立体上某一个表面的投影（这种线框内不得有粗实线）。

图 5-23a 的主视图上有三个线框 1′、2′、3′，左视图上有两个线框 4″、5″。

2. 按线框对投影，想象表面的形状和位置

按照划分出的线框，根据投影规律，对应找出各表面的其他投影。根据各种位置面的投影特性，确定各线框所表示的表面是什么形状，在什么位置。在分析面的投影过程中，要充分利用“类似形”特性进行分析，即某一表面的投影要么是一个边数相同的线框，要么是一条具有积聚性的线，“若无类似形，必有积聚性”，绝无第三种可能。

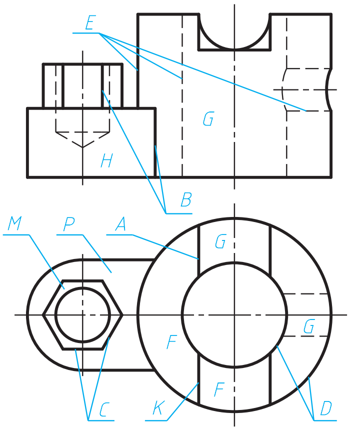


图 5-22　图线和线框的含义

在图 5-23a 中，按“高平齐”，主视图中四边形线框 2′对应左视图中的线 2″，可想出它是立体上侧垂面的投影。同理 1′对应 1″、3′对应 3″，可知它们都是立体上正平面的投影；左视图中，线框 4″对应主视图中的线段 4′，而线框 5″对应主视图中的斜线 5′，它们分别为立体上侧平面和正垂面的投影。

3. 综合起来想整体

由图 5-23a 给出的主视图和左视图的投影轮廓，可想出立体是由长方体经切割而成的，可先画出长方体的俯视图投影，如图 5-23b 所示。由于线框 5″是一正垂面，在左视图中的投影为五边形，所以，其俯视图投影一定是一个五边形的类似形，如图 5-23c 所示。同理侧垂面 2′的俯视图投影也一定是一个四边形的类似形，而线框 1′、3′分别对应俯视图中的水平方向的线 1、3，如图 5-23d 所示。综上所述，可知此立体是由一个长方体经正平面Ⅰ、侧垂面Ⅱ和正垂面Ⅴ切割而成的，如图 5-23e 所示。

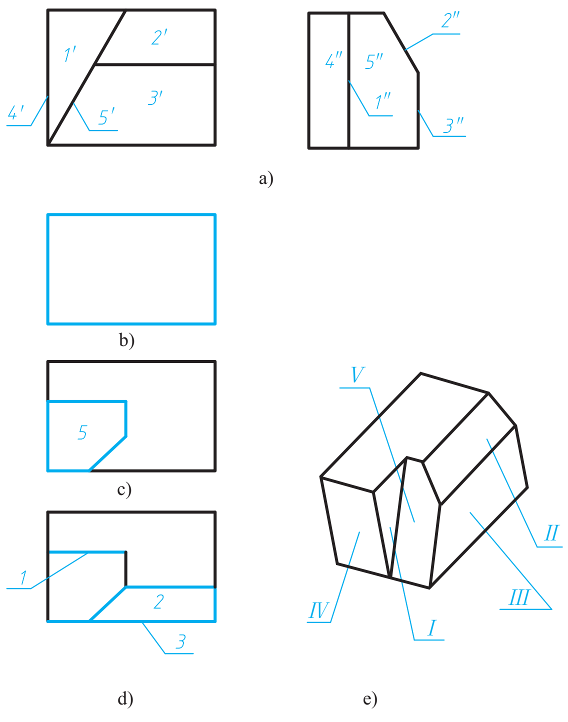


图 5-23　线面分析法读图

5.4.3　综合法读图

形体分析法和线面分析法是组合体读图的基本方法，但两种方法不是孤立的，而是相辅相成的。对于较复杂的组合体读图，往往将两种方法结合起来，用形体分析法分部分，识别组合体的各形体，而各形体的具体形状和细节用线面分析法分析，即“形体分析看大概，线面分析看细节”，称其为综合法读图。

读图 5-24a 所示支座的两个视图，补画出其左视图。

1. 看投影、画线框、对投影，进行形体分析

主视图可大致分为上、中、下三个大线框 1′、2′和 3′，上部分线框 1′的主视图投影形状特征明显，是一个带圆孔的半圆头立板Ⅰ。中间线框 2′在俯视图中形状反映突出，基本形

状为半圆柱体Ⅱ。下部分线框 3′在俯视图中可看出是一个有两个圆孔的长方体底板Ⅲ。所以支座可看成由半圆头立板、半圆柱体和长方体底板三部分经叠加而成，如图 5-24b 所示。三部分叠加时，左右对称、后面平齐。

2. 对细节部分进行线面分析

上面的分析，对半圆柱体上的一些局部结构还不清楚。通过对半圆柱体左右两侧和中间线框分析，可进一步弄清其左右两侧分别被一水平面和侧平面切去一角，中间则是被一水平面、两个正平面和四个侧平面挖切出上、下两个槽，其形状如图 5-24c 所示。

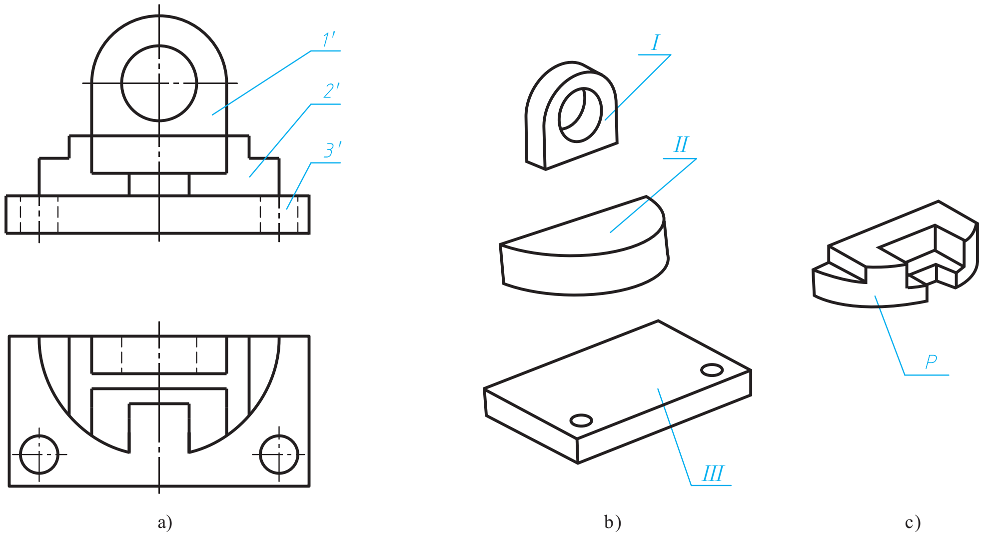


图 5-24　读支座的视图

3. 补画左视图

在想清楚支座形状的基础上即可补画左视图。一般是按其组成部分逐一画出，先画出各基本形体的投影，再补画其细节部分的投影，最后对补画的投影还要进行核对检查，其过程如图 5-25 所示。

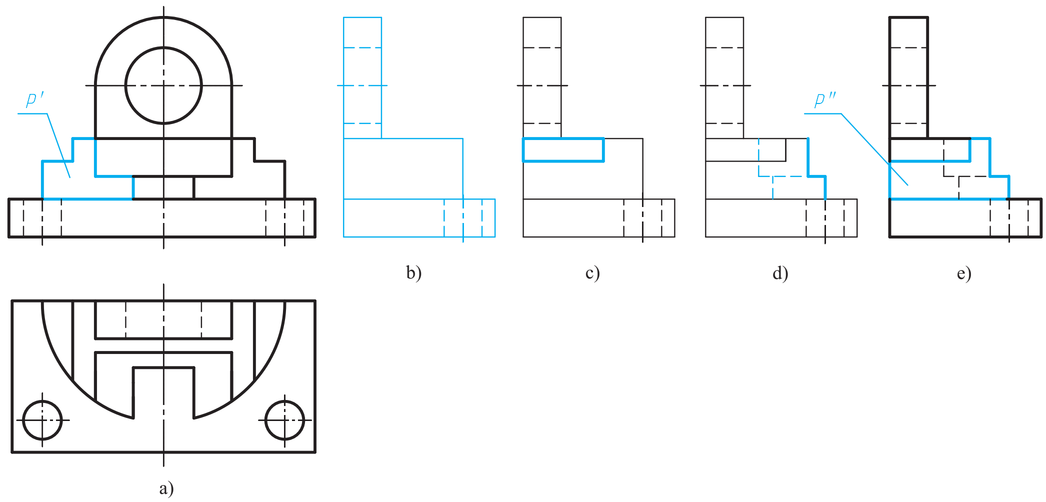


图 5-25　补画支座的左视图

根据主视图和俯视图（图 5-25a）先画出各组成部分整体形状的左视图投影，如图5-25b所示，其次补出中间半圆柱上左右两侧的左视图投影，如图 5-25c 所示；再补出半圆柱中间两槽的左视图投影，如图 5-25d 所示；最后检查，如半圆柱轴线垂直水平面，其左部主视图投影为 p' 的八边线框，与其对应的左视图投影 p'' 也是八边线框（类似形）；加粗完成左视图，如图 5-25e 所示。

由上述的读图方法读组合体视图的举例可见，基本形体的投影特点，形体上各种位置的线、面投影特征是读图的基本依据。在读图过程中还要把投影分析与空间想象紧密结合在一起，对于复杂的物体可能会经过假设——否定——再假设——再否定的几次反复才能读懂。

第 6 章

机件的表达方法

在生产实际中，机件（包括零件、部件、机器）的形状和结构多种多样，对于较复杂的机件，仅用三个投影（三个视图）是难以完整、清晰地表达出来的；而有些机件又不必用三个投影图表示。为此，国家标准《技术制图》(GB/T 17451—1998GB/T 17452—1998、GB/T 17453—2005 和 GB/T 16675. 1—2012）规定了视图、剖视图、断面图及简化画法等常用表达方法。这些表达方法的掌握是正确绘制和读懂机械图样的必备条件。绘制图样时，应根据机件的结构特点，考虑看图方便，选用适当的表达方法，在完整、清晰地表达机件各部分形状的前提下，力求制图简便。

6. 1　视图

视图分为基本视图、向视图、局部视图和斜视图四种。

6. 1. 1　基本视图

根据国家标准规定，采用第一角投影法，把正六面体的六个面规定为基本投影面，把机件放在其中，向六个基本投影面投射所得到的视图称为基本视图。六个基本视图的名称为：

主视图——由前向后投射所得的视图；俯视图——由上向下投射所得的视图；左视图——由左向右投射所得的视图；右视图——由右向左投射所得的视图；仰视图——由下向上投射所得的视图；后视图——由后向前投射所得的视图。

各基本投影面的展开方法和各基本视图的配置位置关系如图 6-1a、b 所示。各视图之间应保持投影对应关系（即长对正、高平齐、宽相等的投影规律）。

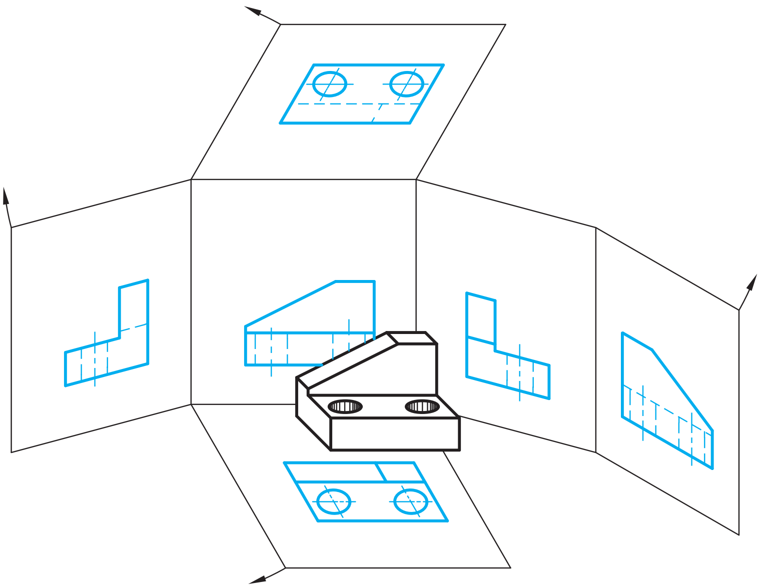
各基本视图按图 6-1b 配置时，一律不标注视图的名称。

实际画图时，机件一般不必画六个基本视图，而是根据机件形状的特点和复杂程度，按实际需要选择其中几个，既完整清晰又简明地表达出机件的结构形状。

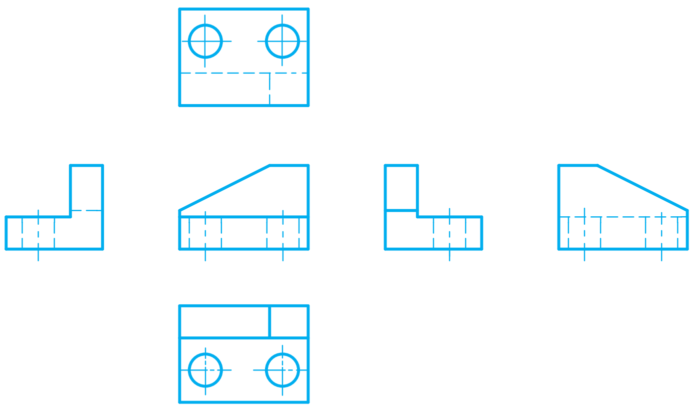
6. 1. 2　向视图

向视图是可自由配置的视图。

在实际设计绘图过程中，往往不能同时将六个基本视图都放在同一张图纸上，或不能按图 6-1b 所示配置时，可按向视图配置。



a)



b)

图 6-1　基本视图

向视图配置时，应在视图的上方用大写拉丁字母标出视图的名称“×”，在相应视图附近画出指明投射方向的箭头，并注上相同大写字母“×”，如图 6-2 所示。

1）箭头、字母均比图中尺寸箭头和数字大一号，字母一律水平书写，视图名称均注在图的上方。

2）表示投射方向的箭头应尽可能配置在主视图上；在绘制以向视图方式配置的后视图时，应将箭头配置在左视图或右视图上，以便所获视图与基本视图一致。

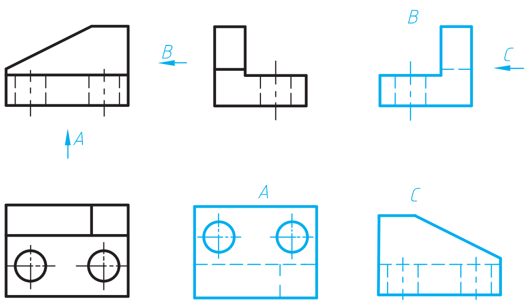


图 6-2　向视图

6.1.3 局部视图

当机件某局部结构形状未表达清楚，又没有必要或不便于画出机件的完整基本视图时，可将机件的该部分向基本投影面投射，所得到的视图，称为局部视图。如图 6-4b 的俯视图位置上只画出反映机件实形部分，而把水平投影不能反映实形部分略去不画，即为局部视图。

局部视图的断裂边界采用波浪线或双折线，如图 6-4b 所示的俯视图。如果局部结构是完整的封闭图形，则可省略断裂边界线，如图 6-3 中“*B*”局部视图。局部视图也可不按投影关系配置，如图 6-3 中“*A*”局部视图。为节省时间和图幅，对称机件可只画一半或四分之一，并在对称中心线两端画出两条与其垂直的平行细实线，如图 6-47 所示。

局部视图的标注方法与向视图基本相同。局部视图可按基本视图或向视图的配置形式配置。当局部视图按基本视图的配置形式配置，中间又没有其他图形隔开时，可省略标注，如图 6-4b 中的局部视图。

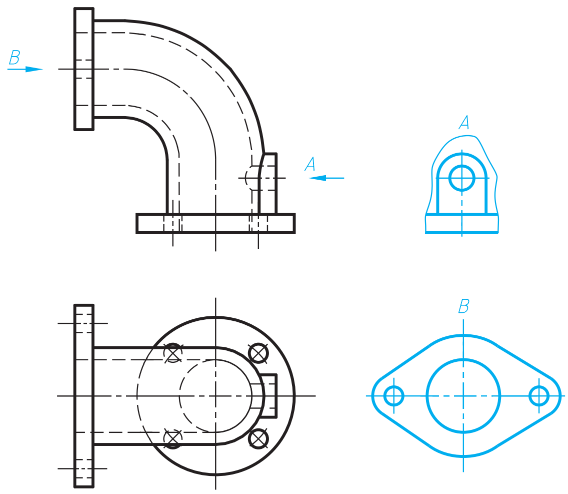


图 6-3 局部视图

6.1.4 斜视图

当机件上有不平行于基本投影面的倾斜结构时，则该部分在基本投影面上的投影就不能反映实形。如图 6-4 所示的弯板。

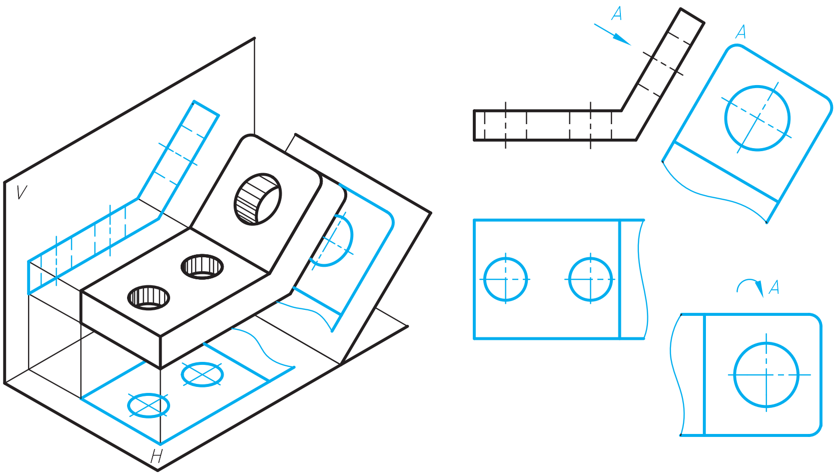
为获得该部分的实形，可另选择一个辅助投影面，使之平行于该部分表面且垂直于某一基本投影面，然后将倾斜部分向辅助投影面投射，即可得到该部分的实形。这样向不平行于基本投影面的平面投射所得到的视图，称为斜视图。

斜视图只画倾斜部分的实形，其余部分用波浪线断开不画，如图 6-4a 所示弯板右上部的倾斜部分在主、俯视图中均不能表达清楚。为表达倾斜部分实形，将这部分向与之平行且垂直于正立投影面的辅助投影面投射，再将其向后展平到与正立投影面重合，即得弯板上倾斜部分的斜视图。

斜视图必须标注，即在斜视图的上方用大写拉丁字母标注斜视图名称“×”，在相应视图附近用箭头指明投射方向，并注上相同的大写字母“×”，字母水平方向注写，如图 6-4b 所示。

斜视图一般按向视图的配置形式配置及标注。必要时允许把图形旋转——使图形主要轮廓（或中心线）成水平或竖直方向，但此时应在视图名称的大写拉丁字母前面或后面注写旋转符号，表示旋转方向，且使大写字母紧靠旋转符号的箭头端，如图 6-4c 所示。必要时可将旋转角度标注在字母之后，如图 6-5 所示。

旋转符号是表示斜视图旋转配置时该视图旋转方向的符号。旋转符号的画法如图 6-6 所



a)　　　　b)　　　　c)

图 6-4　斜视图（一）

示。斜视图旋转时，其旋转方向可以是逆时针旋转，也可以是顺时针旋转，标注时旋转符号的方向要与实际视图旋转方向一致，以便读图。斜视图的旋转角度可根据具体情况确定，通常以不大于 90°为宜。

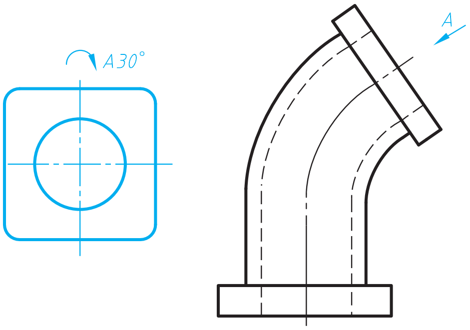


图 6-5　斜视图（二）

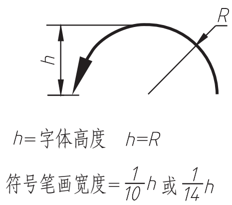


图 6-6　旋转符号

6.2　剖视图

视图主要用于表达机件的外部形状和结构，内部结构在前述视图中一般用虚线表达。当机件内部结构形状较复杂时，视图中的虚线就会很多，会出现内外形状重叠，虚实交叉的现象，给绘图和读图增加了困难，且不便于尺寸标注，如图 6-7 所示。为此，国家标准规定了剖视图的表达方法。

6.2.1　剖视图的概念

假想用剖切面剖开机件，将处在观察者和剖切面之间的部分移去，而将其余部分向投影面投射，所得的图形称为剖视图，简称剖视，如图 6-8 所示。

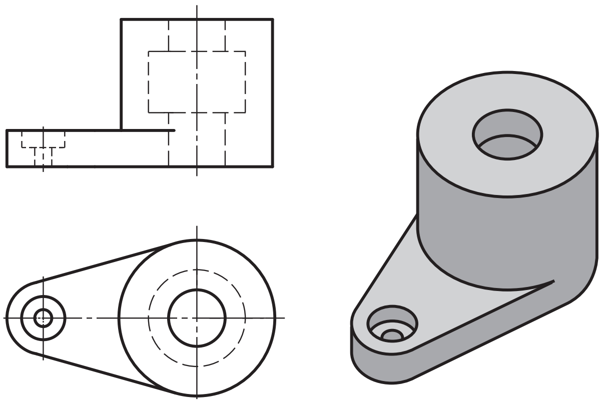


图 6-7　组合体视图

剖切面是指剖切被表达机件的假想平面或曲面，如图 6-8 中剖切平面 *A*。

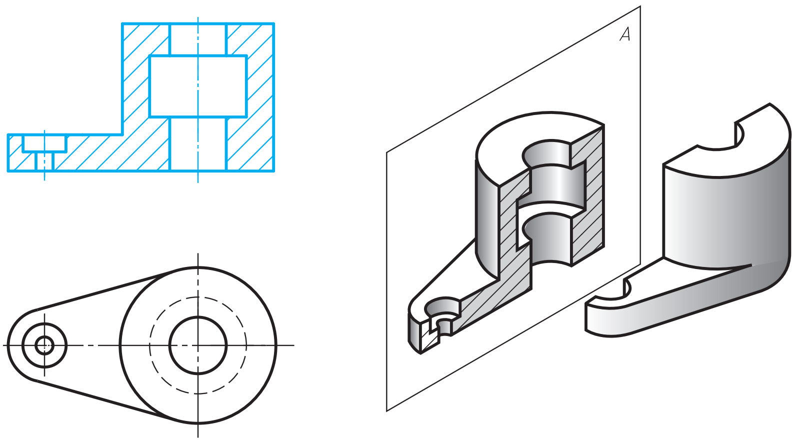


图 6-8　剖视图的形成

剖切面与机件实体接触的部分，应画出规定的剖面符号。各种材料的剖面符号见表6-1。

6. 2. 2　剖视图的标注

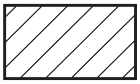
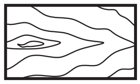
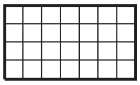
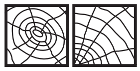
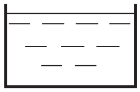
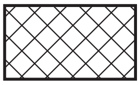
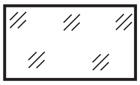
剖视图的标注内容一般包括在相应的视图上用剖切符号表示剖切面的剖切位置；用箭头表示出投射方向；用大写拉丁字母表明剖视图名称。

（1）剖切线　表示剖切平面位置的线，用点画线表示，可省略不画。

（2）剖切符号　剖切符号由剖切面的起讫和转折位置（粗短画线）及投影方向（箭头）表示。箭头线为细实线，与起讫和转折位置垂直相交。剖切符号的起讫和转折处尽可能不要与图形轮廓线相交，应留少许间隙。

（3）字母　用相同大写拉丁字母在剖切符号起讫和转折处的外侧标注。并在剖视图的上方用同一大写字母注出剖视图的名称“×—×”，如图 6-9 所示。不论剖切符号方向如何，字母水平注写。

表 6-1　剖面符号

金属材料(已有规定剖面符号者除外)		木材	纵断面	
线圈绕组元件			横断面	
转子、电枢、变压器和电抗器等的叠钢片		液体		
非金属材料(已有规定剖面符号者除外)		木质胶合板(不分层数)		
玻璃及供观察用的其他透明材料		格网(筛网、过滤网等)		

在下列情况时，剖视图标注的内容可相应省略：

1）当剖视图按投影关系配置，即剖视图配置在基本视图位置，中间又没有其他图形隔开时，箭头可以省略，如图 6-9 的俯视图。

2）当剖切平面通过机件的主要对称平面时，且剖视图按投影关系配置，中间又无其他图形隔开时，可以全部省略标注，如图 6-8、图 6-9 的主视图。

6.2.3　画剖视图应注意的事项

1）首先应根据机件的结构特点，确定在哪个视图上取剖视，剖切面一般应通过机件的对称面或轴线，以使剖出的结构能反映内部结构的实形，如图 6-9、图 6-10 所示。

2）剖视图是假想的把机件切开，实际上机件是完整的。因此，机件的一个视图取剖视并不影响其他视图的完整性。如图 6-8 中主视图取剖视，其俯视图仍按完整视图画出。图 6-9 中主、俯视图都各自取了剖视。

3）剖视应理解为“剖而视之”。因而剖切面后面的可见轮廓线应全部画出，不要漏线，也不能多线，如图 6-10 所示。

4）剖视图或其他视图中已表达清楚的结构形状，其投影为虚线时，一般不画出虚线。但未表达清楚的结构形状，或省略一个视图而又不影响图形清晰性的情况下，可以画出必要的虚线。如图 6-11 所示机件前后缘的高度，在主视图中以虚线表示。

5）在剖面区域内画上剖面符号（剖面线），剖面符号与材料有关，见表 6-1。当为金属材料或不需要在剖面区域中表示材料的类别时，可采用通用的剖面符号表示，即一组间距相等且与图形的主要轮廓或剖面区域的对称线成 45°角的细实线，如图 6-12 所示。注意：同一零件的各个剖面区域，剖面符号的画法一致。当画出的剖面线与图形的主要轮廓或剖面区域的对称线平行或接近平行时，剖面线应画成与水平成 30°或者 60°的平行线，但倾斜的方向和间隔与其他图形的剖面线应一致，如图 6-9 的主视图。

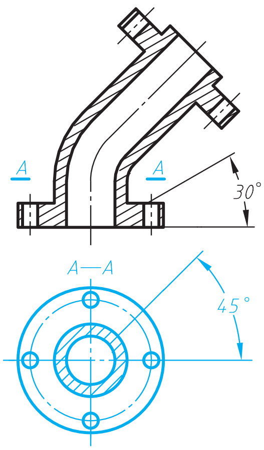


图 6-9　剖视标注、剖面线方向与角度

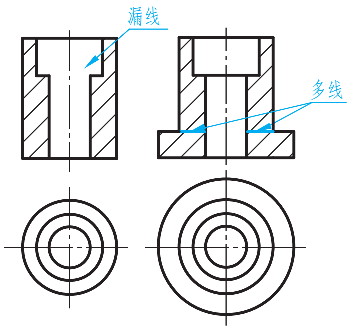


图 6-10　剖视图中漏线、多线

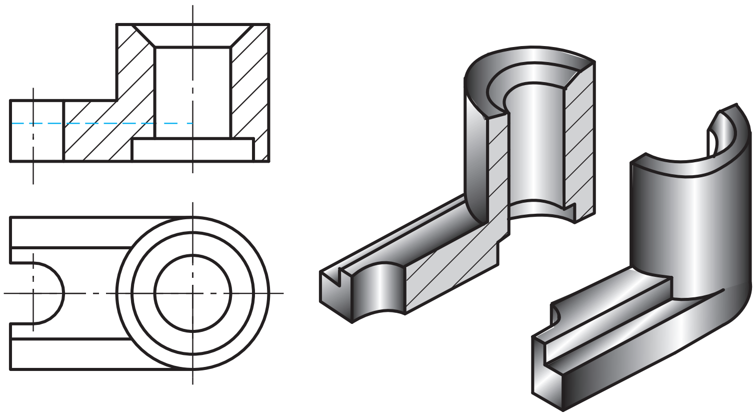


图 6-11　必要虚线不能省略

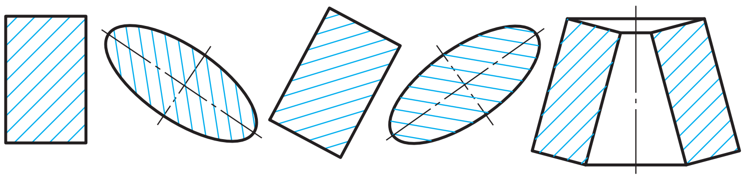


图 6-12　剖面线方向

6.2.4　剖切面的种类

根据机件的结构特点，可以选择以下剖切面剖开机件：单一剖切面、几个相交的剖切面（交线垂直于某一投影面）、几个互相平行的剖切平面。

1. 单一剖切面

单一剖切面通常指单一剖切平面或单一剖切柱面。

单一剖切平面可以平行于基本投影面，如图 6-8、图 6-9、图 6-11，也可以不平行于基本投影面。用不平行于任何基本投影面但平行于机件倾斜结构且垂直于某一投影面的斜剖切平面剖开机件的方法得到的剖视图称为单一斜剖切平面的剖视图。

用单一斜剖切平面剖得的剖视图适用于表达机件上倾斜部分的内部结构，如图 6-13 中 *A*—*A* 剖视图，是采用倾斜于水平面的正垂面作为剖切平面剖开机件，将该倾斜结构向平行于该剖切平面的相应投影面投射所得的全剖视图。

用单一斜剖切平面剖得的剖视图必须加以标注（标注内容、方法和要求如 6. 2. 2 节中所述）。用单一斜剖切平面剖得的剖视图最好配置在箭头所指方向，并与基本视图保持投影关系。但为了合理利用图纸和画图方便，允许将其平移到其他适当位置或将图形转正画出，转正后的图形上方须加注旋转符号，如图 6-13 所示。

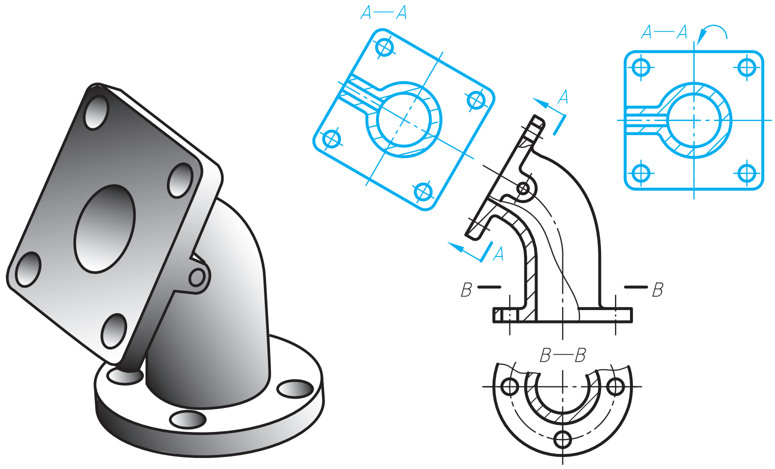


图 6-13　单一斜剖切平面获得的剖视图

2. 几个相交的剖切面（交线垂直于某一投影面）

当机件上孔、槽的轴线不在同一平面上，用同一个剖切平面不能表达完全，而机件又具有回转轴时，用两相交的剖切平面剖开机件，然后将被剖切平面剖开的倾斜结构及其有关部分绕交线（即机件的轴线）旋转，使其与选定的基本投影面平行时再进行投射，如图 6-14、图 6-15、图 6-16 所示。

用这种剖切方法画出的剖视图必须标注。在两剖切平面的起讫、转折处，画出剖切符号和注上相同的大写字母如“*A*”，并在剖视图上方注明“*A*—*A*”，如图 6-14、图 6-15、图 6-16 所示。

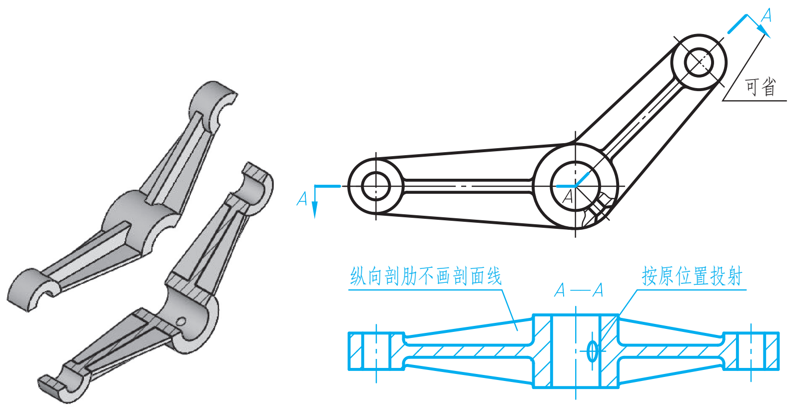


图 6-14　两个相交剖切平面获得的剖视图

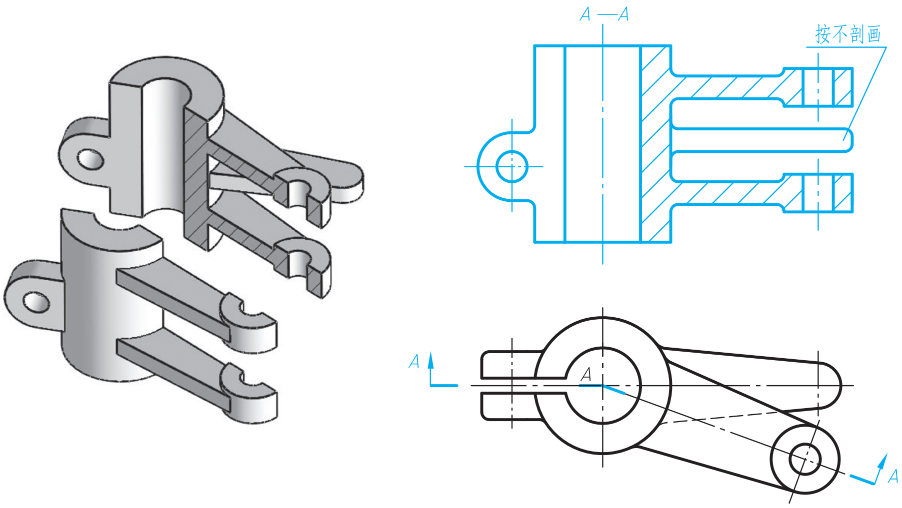


图 6-15　剖切产生不完整要素画法

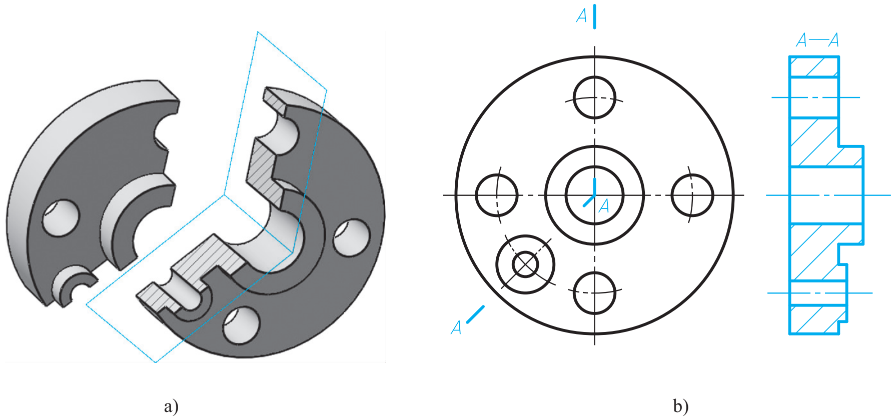


图 6-16　两相交的剖切平面剖切的剖视图

用这种剖切方法画剖视图时的注意事项：

1）几个相交的剖切平面的交线必须垂直于投影面。

2）剖切面的交线应与机件上某孔轴线重合。

3）剖切平面后的其他结构，一般仍按原位置投影，如图 6-14 中的小孔。

4）当剖切后产生不完整要素时，如图 6-15 中的臂，应将此部分按不剖绘制。

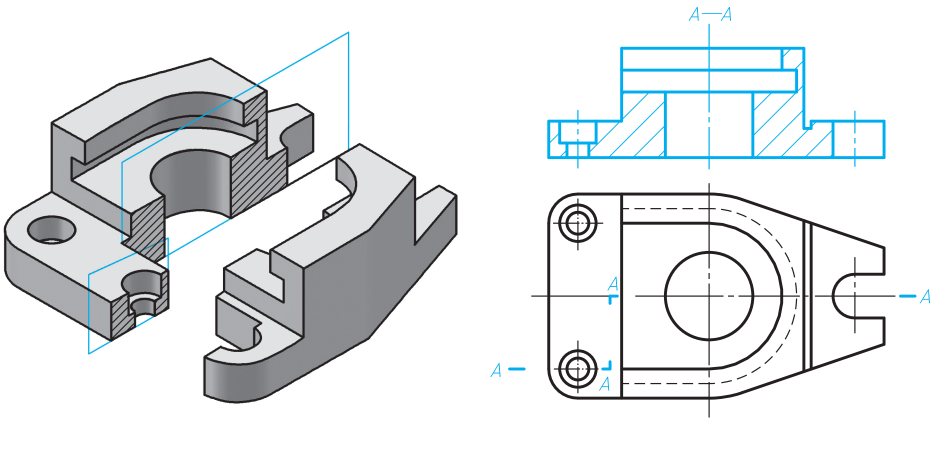
3. 几个平行的剖切平面

用几个与基本投影面平行的剖切平面剖开机件再向投影面进行投射，如图 6-17 所示。

这种方法适用于外形简单（或由其他视图已表达清楚），而内部结构的中心线分别排在两个或多个相互平行的平面上的机件。

用几个与基本投影面平行的剖切平面剖开机件的方法画出的剖视图必须标注。在剖切平面起讫、转折处均要画出剖切符号，并标注相同大写字母。并在剖视图上方注明相应字母。

在转折处剖切符号应互相垂直，如图 6-17b 中的标注。当转折处的位置有限且不会引起误解时，允许省略字母。



a)　　b)

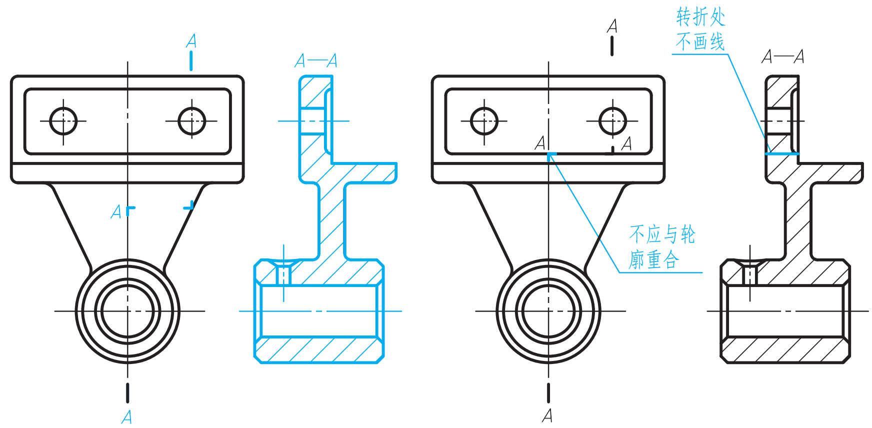
图 6-17　两个平行剖切平面获得的剖视图

用这种方法画剖视图时应注意以下几点：

1）剖切符号转折处不应和图中的任何轮廓线重合，如图 6-18b 所示的错误。

2）在剖视图上剖切平面转折处不应画出其分界线的投影，如图 6-18b、图 6-19 所示。

3）不要剖出不完整的要素，如图 6-20 所示的剖视图中剖出半个孔是错误的。只有当两个要素在图上具有公共对称中心线或轴线时，可以采用图 6-21 的方式各画一半，以对称中心线或轴线为分界线，组成一个剖视图。



a) 正确　　b) 错误

图 6-18　剖切符号不要和图中轮廓线重合

6.2.5　剖视图的种类

由于机件的结构和形状多种多样，为了能清楚地表达出它们的内外形状和结构，可采用不同的剖切方法，从剖切之后图形的特点来分，剖视图分三种：全剖视图、半剖视图和局部

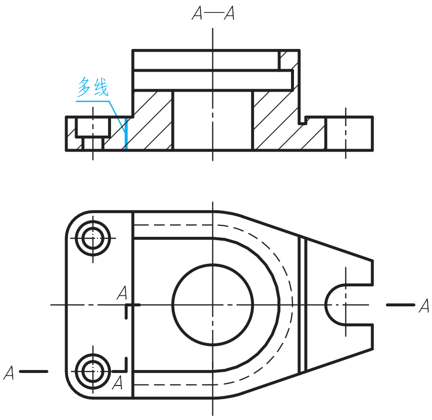


图 6-19　不要画出转折处界线的投影

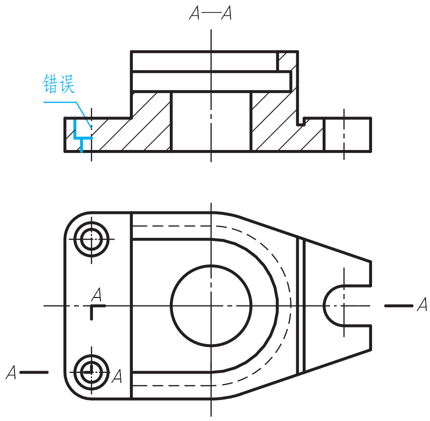


图 6-20　不要剖出不完整要素

剖视图。

1. 全剖视图

（1）基本概念　用剖切面将机件完全剖开所得到的剖视图称为全剖视图。

（2）适用范围　全剖视图主要用于外形简单，内部形状复杂，且又不对称的机件，如图 6-8、6-9、6-11、6-13 所示为单一剖切平面剖切，获得的全剖视图；图 6-14 所示为两相交的剖切平面剖切获得的全剖视图；图 6-17 所示为两平行的剖切平面剖切获得的全剖视图。对于空心回转体机件，虽然图形对称，但为了标注尺寸和图形表达清晰，也多采用全剖视图。全剖视的优点是能清楚地表达机件的内部结构，缺点是机件的外形被剖掉了。因此，全剖视图主要用于机件外形简单或机件外形已在其他视图中表达清楚，而内部结构又较复杂的机件。

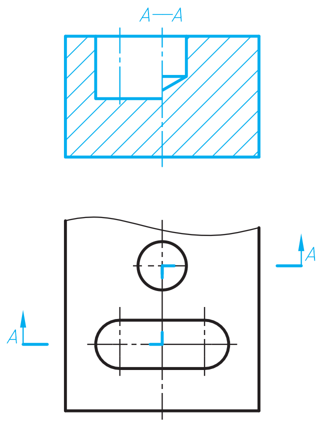


图 6-21　具有公共对称中心线的机件剖法

（3）标注　全剖视图的标注方法如本节“6. 2. 2 剖视图的标注”所述。

在如下情况可省略标注：

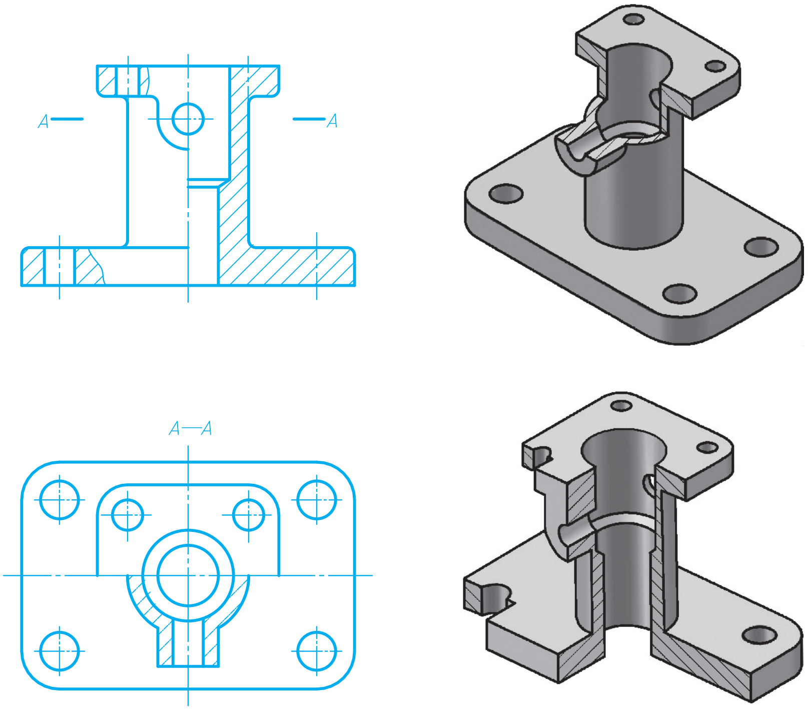
1）当在基本视图中画剖视图且两视图之间又没有其他图形隔开时，可以省略箭头，如图 6-13 中的俯视图。

2）当单一剖切平面通过机件的对称平面或基本对称平面，且剖视图配置在基本视图位置，中间又无其他图形隔开时，可以全部省略标注，如图 6-8～图 6-11 中的主视图。

2. 半剖视图

（1）基本概念　当机件具有对称平面时，向垂直于对称平面的投影面上投射所得的图形，可以对称中心线为界，一半画成剖视图，另一半画成视图，这种图形称为半剖视图，如图 6-22 所示。

（2）适用范围　半剖视图用于内外结构形状都需表达且机件在此视图方向结构对称的情况。图 6-22 所示的支座，若其主视图如果采用全剖视，则前部的凸台形状就表达不清楚。因为支座左右对称，可采用半剖视图，这样既表达出内部结构形状又保留了前部凸台的形状。



a)　　　　b)

图 6-22　半剖视图

（3）标注　半剖视图的标注方法与全剖视图的标注方法相同。在图 6-22 中，主视图的半剖视是用机件前后对称面作为剖切面得出的，故省略标注。而俯视图的半剖视，所采用的是水平剖切面，不是机件的上下对称面，所以必须标注，在主视图中用剖切符号及大写拉丁字母表示出剖切位置，并在俯视图上方用相同字母注出名称“×—×”。因为剖视图放在基本视图位置上，中间又没有其他图形隔开，所以箭头省略不画。

（4）注意事项　在半剖视图中，视图和剖视图的分界线应为细点画线，而不应画成粗实线。由于内部结构在剖视图部分已表达清楚，因此在视图部分就可以省略虚线。半剖视图中剖视部分的位置通常按以下原则配置，即主视图和左视图位于对称线的右侧；俯视图位于对称线的下方，如图 6-22 所示。

如果机件基本上接近对称，而不对称的部分已另有图形表达清楚，也可画成半剖视，如图 6-23 所示。

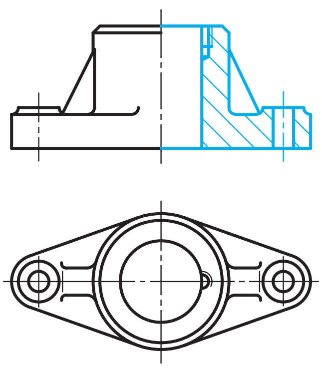


图 6-23　基本对称机件的半剖视图

3. 局部剖视

（1）基本概念　用剖切面剖开机件的局部，表达机件该部位的内部结构形状，这样的剖视图称为局部剖视图，如图 6-24 所示。

（2）适用范围　局部剖视图一般用于内外形状均需表达的不对称机件。图 6-24 所示机件，内外形状都需表达，而图

形又不对称，若采用全剖视，则前边的圆孔被切掉，为此，在主视图中采用了两处局部剖视图，分别表达各孔、槽内部形状，同时保留了所需要的外形。俯视图也采用了局部剖视图，把水平孔的内部表达出来了。

局部剖视图常用于下列情况：

1）内外形状都较复杂，又不对称的机件。

2）机件的内部结构仅有个别部分（如孔、槽等）未表达清楚，又不宜采用全剖视图，应采用局部剖视图，如图 6-22 所示的支座，主视图中顶板和底板上的小孔采用了局部剖视图。

3）轴、手柄等实心件上的孔、槽结构，多采用局部剖视图表达，如图 6-26c、图 6-28 所示。

4）机件虽然对称，但中心线和轮廓线重合，宜采用局部剖视图，如图 6-29 所示。

（3）画法　局部剖视图与视图间用波浪线或折断线分界。它们代表机件表面的断裂线，因此，波浪线和折断线是画在机件实体投影的部位上，非实体部分不应画线，所以当剖切部位通过孔、槽时，波浪线和折断线必须在孔、槽处断开，如图 6-25 所指处应无线。

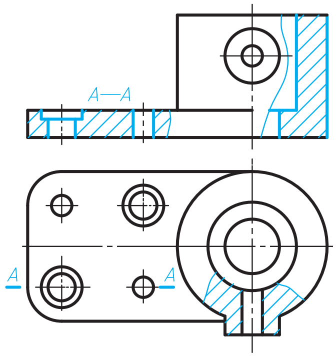


图 6-24　局部剖视图

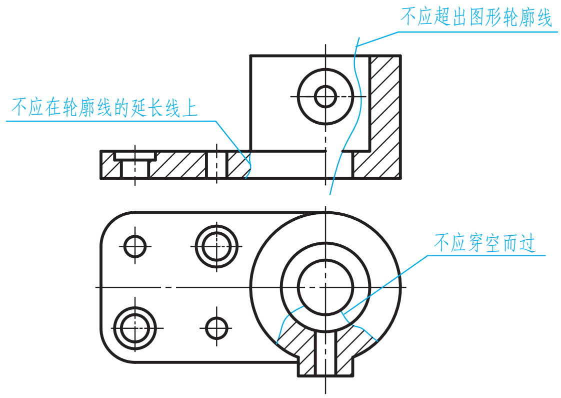


图 6-25　波浪线不应穿空而过

波浪线和折断线不应和图形中其他图线重合，也不应画出轮廓线之外，如图 6-26 中 a、b 两图是错误的。

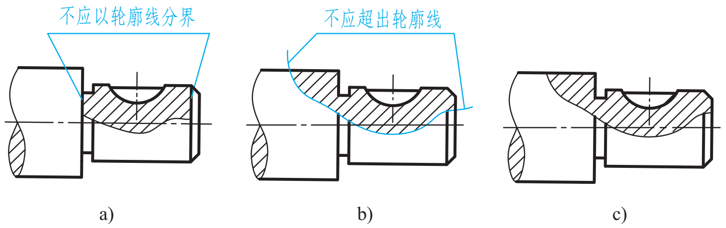


图 6-26　波浪线不应和图中轮廓线重合，也不应画出图形之外

当被剖切结构为回转体时，允许将该结构的中心线作为局部剖视与视图的分界线，如图 6-27 所示。

（4）标注　对于单一剖切平面且剖切位置明显的局部剖视图，一般不用标注。否则应标注，方法与全剖视图相同，如图 6-24 中的“*A—A*”。

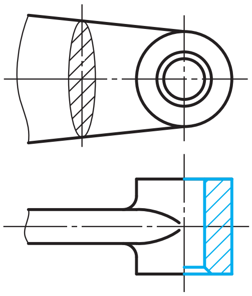


图 6-27　以中心线为分界线的局部剖视图

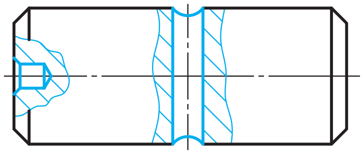


图 6-28　实心轴件的局部剖图

（5）注意事项　局部剖视是表达机件内部结构形状一种比较灵活的方法，剖切的范围和位置可根据需要确定，运用得当可使图形简明清晰。但要注意：在一个视图中过多地选用局部剖视图，会使图形过于零碎而影响图形的清晰，给读图带来困难。

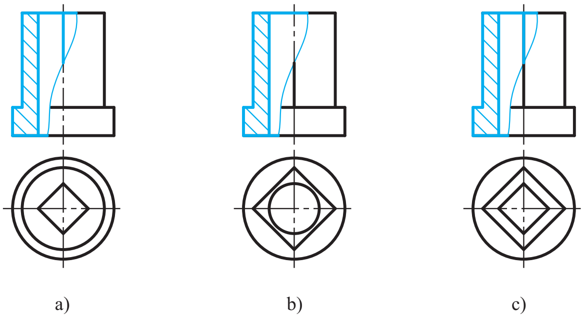


图 6-29　局部剖视代替半剖视

6.3　断面图

6.3.1　断面图的概念

假想用剖切平面将机件的某处切断，仅画出该剖切平面与机件接触部分的图形，并画上剖面符号，这种图形称为断面图，简称断面，如图 6-30 所示。

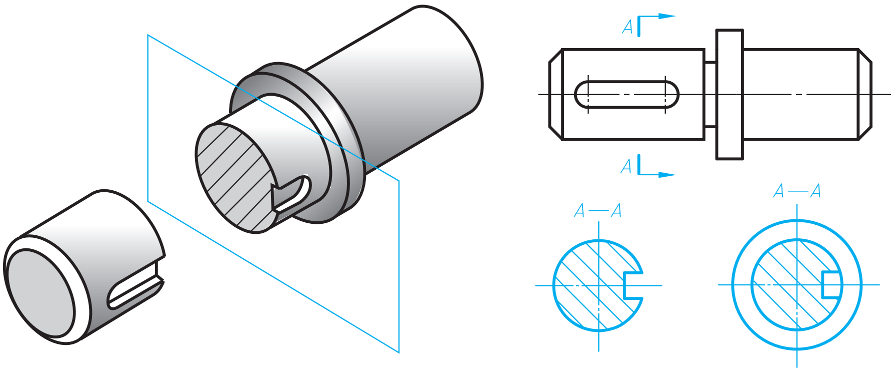


图 6-30　断面的概念

断面主要用于表达机件某处断面的实形，剖切平面通常垂直于机件的主要轴线或该处轮廓线，如零件上的肋和轮辐的断面、轴上孔和键槽的断面等。断面和剖视不同，断面是仅画断面处的形状，而剖视是将断面及其后面可见部分都画出，如图 6-30 中左边的“*A—A*”为断面，而右边的“*A—A*”为剖视。

6.3.2 断面的种类、画法及标注

断面可分为移出断面和重合断面。

1. 移出断面

（1）概念　画在视图轮廓线之外的断面图称为移出断面。

（2）基本画法

1）移出断面的轮廓线用粗实线绘制。

2）尽量配置在剖切符号或剖切线的延长线上，如图 6-31a、b 所示，也可配置在其他适当位置。在不引起误解时，允许将断面图旋转，如图 6-35 中的 *A—A*。当移出断面图形对称时，可画在视图的中断处，如图 6-31c 所示。

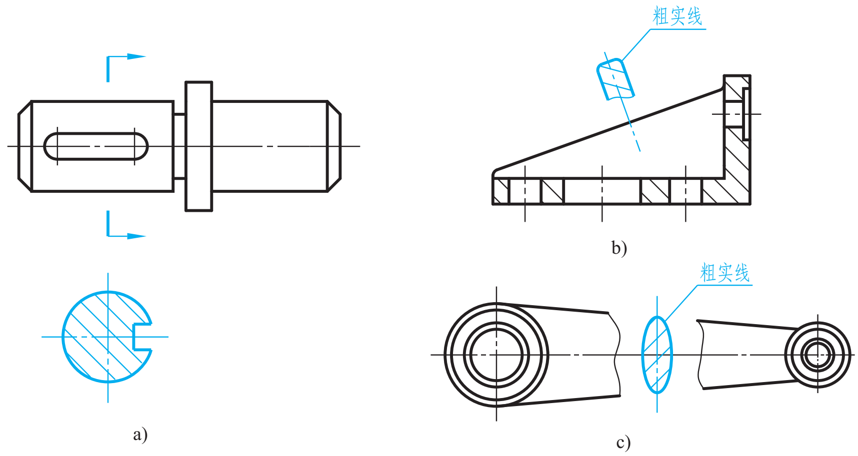


图 6-31　移出断面

（3）标注　移出断面图的标注同全剖视图的标注相同，用剖切符号表示剖切位置，用箭头表示投射方向，用大写字母表示名称，并在断面图的上方用同样字母标出相应的名称“×—×”，如图 6-32 中的 *C—C*。

在下列情况下可省略标注：

1）配置在剖切符号延长线上的不对称的移出断面，可以省略字母，如图 6-31a 和图 6-32轴的左端面。

2）不配置在剖切符号延长线上的对称移出断面及按投影关系配置在基本视图位置上的不对称移出断面，可以省略箭头，如图 6-32 中的 *A—A* 和 *B—B* 移出断面。

3）配置在剖切符号延长线上的对称移出断面，以及配置在视图中断处的对称移出断面均不必标注，如图 6-31b、c 及图 6-32 中的圆孔处断面。

4）移出断面图旋转后，要标注旋转符号，如图 6-35 中的 *A—A*。

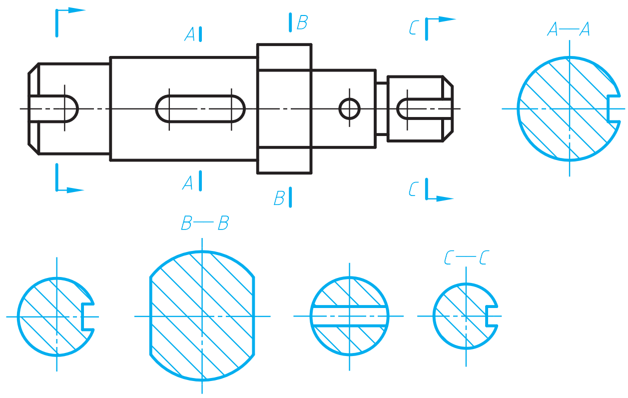
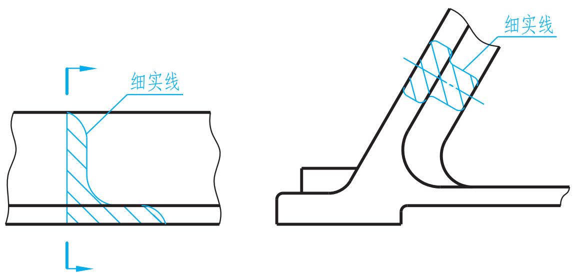


图 6-32　移出断面标注

2. 重合断面

（1）概念　按投影关系直接把断面图画在视图轮廓线的里边称为重合断面。

（2）画法　重合断面的轮廓线用细实线绘制。当视图中的轮廓线与重合断面的轮廓线重叠时，视图中的轮廓线仍需完整画出，不可间断，如图 6-33 所示。



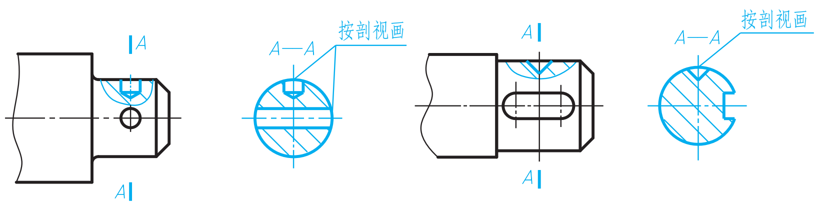
a)　　　　b)

图 6-33　重合断面

（3）标注　对称的重合断面可省略标注（图 6-33b），不对称的重合断面，可省去字母（图 6-33a）。

3. 断面图画法的特别规定

1）当剖切平面通过回转面形成的孔或凹坑的轴线时，这些结构按剖视绘制，如图 6-34 所示。图 6-34a 中圆孔处断面画成封闭亦属这种情况。



a)　　　　b)

图 6-34　断面图按剖视绘制（一）

2）当剖切平面通过非圆孔，会导致出现完全分离的两个断面时，这时应按剖视绘制，如图 6-35 所示。

3）由两个或多个相交的剖切平面剖切得出的移出断面，中间一般应断开并画在一个剖切迹线的延长线上，如图 6-36 所示。

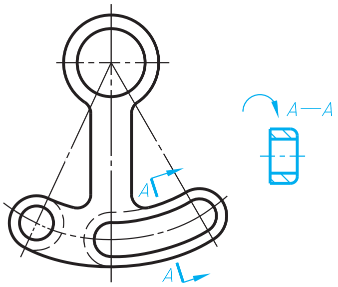


图 6-35　断面按剖视绘制（二）

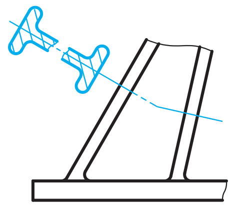


图 6-36　两相交剖切平面剖出的移出断面

6.4　局部放大和简化画法

为了减少绘图量，提高绘图效率，国标 GB/T 16675. 1—2012 规定了技术制图中的一些简化画法，现择要介绍如下。

6.4.1　局部放大图

机件上某些细小结构，按原图采用的比例表达不够清楚，或不便于标注尺寸时，可将这部分结构用大于原图所采用的比例画出，这种图形称为局部放大图。

局部放大图可画成视图、剖视图、断面图，它与被放大部分的表达方式无关，如图 6-37 所示。局部放大图应尽量配置在被放大部位的附近。

绘制局部放大图时，除螺纹牙型、齿轮及链轮的齿形外，其余应在图上用细实线圆圈出被放大的部位。

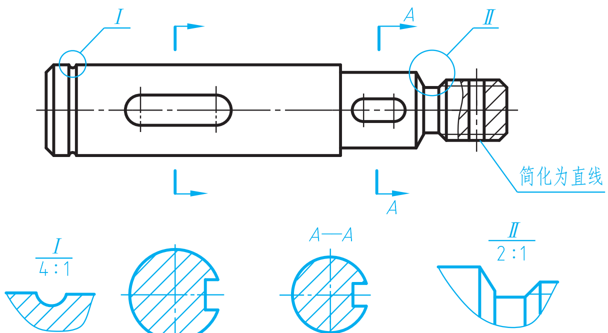


图 6-37　局部放大图

当机件上有几处被放大部位时，必须用大写罗马数字依次标明放大部位，并在局部放大图上方注出相应的罗马数字和所采用的比例，如图 6-37 所示。机件上只有一处被放大时，在局部放大图上方只需注出比例。

6.4.2　简化画法

1）当机件具有若干相同且成规律分布的孔（圆孔、螺孔、沉孔等）时，可以只画出一个或几个，其余用细点画线表示其中心位置，如图 6-38 中的孔。

2）机件上具有若干相同结构（齿、槽、孔等），并按一定规律分布时，只需画出几个完整的结构，其余用细实线连接（图 6-39）或用点画线表示其中心位置（图 6-40），但须在

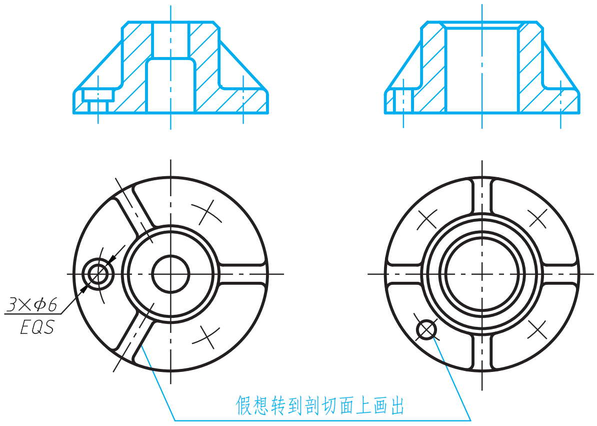


图 6-38　回转体机件上肋、孔画法

图中注明该结构的总数。

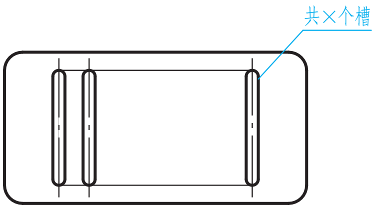


图 6-39　相同结构的简化画法（一）

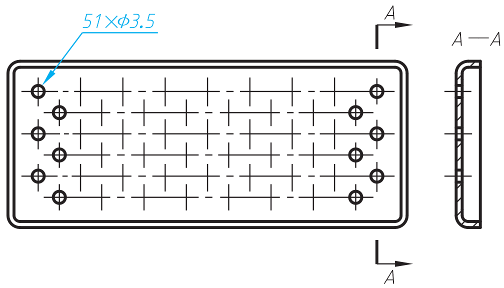


图 6-40　相同结构的简化画法（二）

3）机件上的肋、轮辐及薄壁等，如按纵向剖切，这些结构不画剖面符号，而用粗实线将它与其邻接部分分开，如图 6-41 所示的左视图和图 6-42 所示的主视图。但当剖切平面垂直于它们剖切时，仍应画剖面符号，如图 6-41 所示的俯视图。

4）回转体零件上均匀分布的肋、轮辐、孔等结构不处于剖切平面上时，可将这些结构

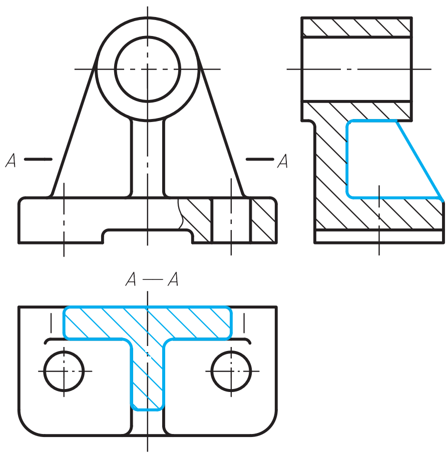


图 6-41　剖视图中肋板的画法

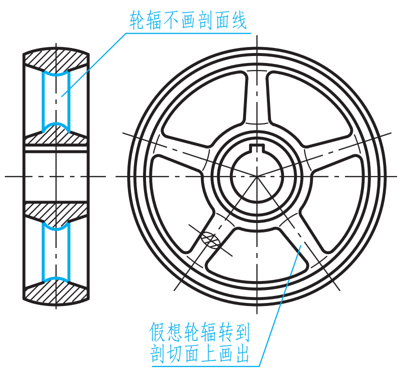


图 6-42　剖视图中轮辐的画法

旋转到剖切平面上画出，如图 6-38 所示。

5）当图形不能充分表达平面时，可用平面符号——相交两细实线表示，如图 6-43 所示。

6）机件上斜度不大的结构，如在一个图形中已表达清楚，其他图形可只画小端的投影，如图 6-44 所示。

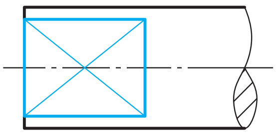


图 6-43　平面的表示法

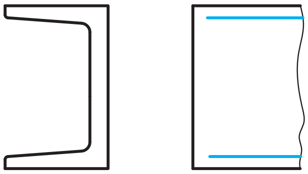


图 6-44　斜度的表示法

7）较长的机件且长度方向的形状一致或按规律变化时，可以断开后缩短绘制，折断线一般采用波浪线或双折线，如图 6-45 所示。

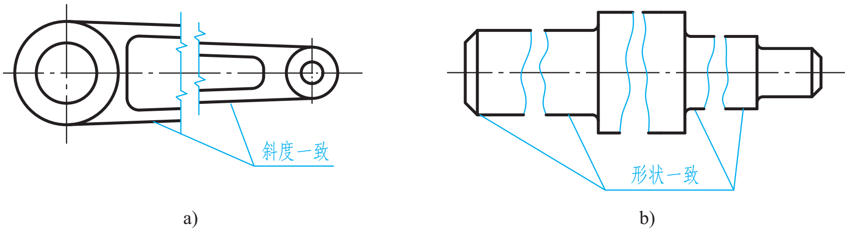


图 6-45　断开画法

8）相贯线、截交线、过渡线在不致引起误解时，允许画成圆弧或直线，代替非圆曲线，如图 6-46 所示，当两圆柱轴线垂直相交时，相贯线可用圆规直接画出，其半径为相交

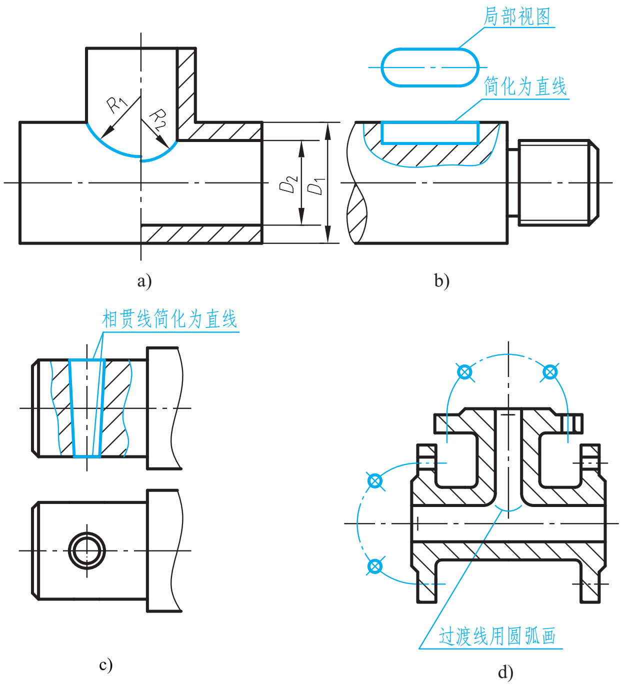


图 6-46　相贯线、截交线、过渡线的简化画法

两圆柱中大圆柱的半径，如图 6-46a 所示，$R_1=D_1/2$，$R_2=D_2/2$。

9）零件上对称结构的局部视图可按图 6-46b 所示的方法绘制。圆柱形法兰盘和类似的机件上均匀分布的孔，可按图 6-46d 所示的方法表达。

10）在不致引起误解时，对称机件的视图可只画一半或四分之一，并在对称中心线的两端画出两条与其垂直的平行细实线，表示对称，如图 6-47 所示。

11）网状物、编织物或机件上的滚花部分，可在轮廓线附近用粗实线示意画出，并在零件图上或技术要求中注明这些结构的具体要求，如图 6-48 所示。

12）在不致引起误解时，零件图中的小圆角、锐边的小倒角或 45°小倒角可以省略，但必须注明尺寸或在技术要求中加以说明，如图 6-49 所示。

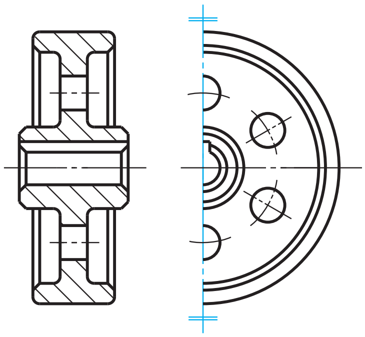


图 6-47　对称机件的简化画法

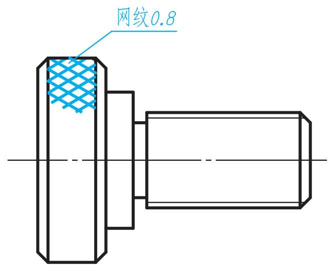


图 6-48　网纹滚花的简化画法

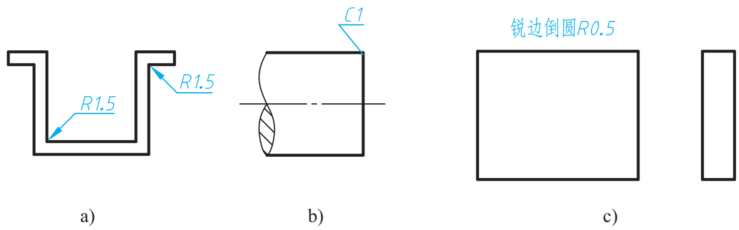


图 6-49　小圆角、小倒角的简化画法

6.5　表达方法应用举例

前述的机件各种表达方法，在实际应用中，应根据机件的结构特点加以分析选择，以恰当的表达方案把机件内外结构形状完整、清晰地表达出来。选择视图时要使每个视图、剖视图或断面图等表达内容明确，又要注意它们之间的联系，以便读图。同时避免过多地重复表达，力求简化绘图。下面以支架为例说明它们的应用。

图 6-50 所示为一支架的立体图，为能正确选用表达方法，确定好的表达方案，分析步骤如下：

1. 分析机件结构形状

支架是由下面倾斜底板，上面空心圆柱和中间的十字形肋板三部分组成的。倾斜板上有四个通孔，整个支架前后对称。

2. 选择主视图

应选择能反映机件信息量最多的视图作为主视图，通常是机件的工作、安装或加工位置。为了便于画图，必须将机件的主要轴线或主要平面，尽可能地使之平行于基本投影面的位置。根据支架的结构特点，应选用箭头 *A* 所指的方向作为主视图的投射方向，并把支架的主要轴线——空心圆柱的轴线水平放置，作为主视图，同时根据支架结构形状，应采用局部剖，这样在主视图上，既能表达出其内部结构又保留了肋板的外形。

3. 选择其他视图

由于支架上的倾斜板与空心圆柱轴线相交成一角度。这样，在选用其他基本视图表达时，支架的倾斜部分就产生了变形，不方便画图和标注尺寸。因此不宜采用三个基本视图的表达方案。

根据支架的特点，除主视图采用局部剖表达空心圆柱内部和倾斜板上的小通孔外，左视图可采用局部视图（将倾斜板略去）表达。倾斜板的实形可采用“*B*”斜视图表达，而十字肋板可用移出断面表达。

这样的表达方案比较清晰简练，便于看图和画图。如图 6-51 所示为支架的表达方案。

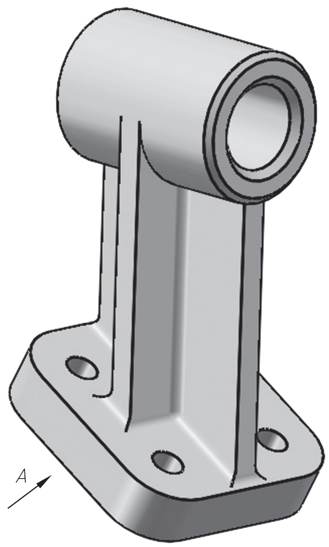


图 6-50　支架立体图

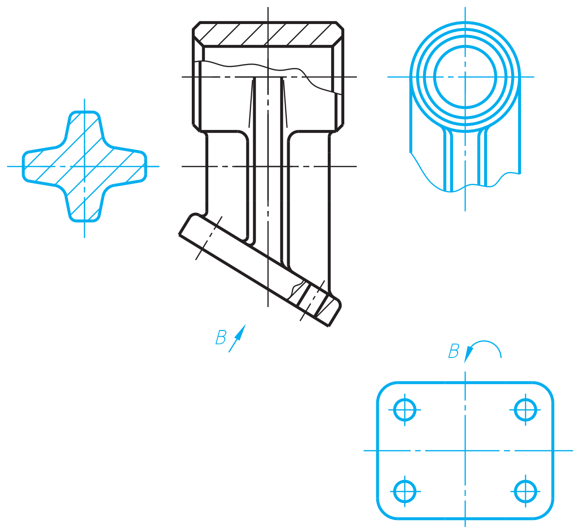


图 6-51　支架的表达

6.6　第三角投影简介

如图 6-52 所示，投影面 *V*、*H* 和 *W* 相互垂直，将空间分成八个分角，依次称为第一分角、第二分角、第三分角等。

把机件放在第一分角中，按观察者—物体—投影面的位置关系进行投射，称为第一角投影，如图 6-53 所示。把机件放在第三分角中，按观察者—投影面—物体的位置关系进行投射，称为第三角投影，如图 6-54 所示。

第三角投影和第一角投影的基本投影原理是相同的，视图之间也保持投影关系。只是物体所在分角不同，各视图的配置关系有所变化，这是第三角投影的主要特点。

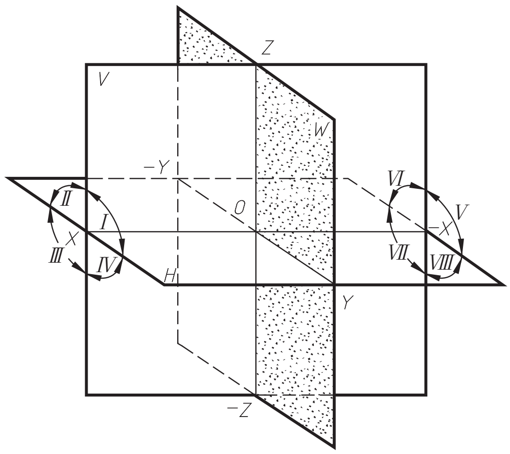


图 6-52　四个分角

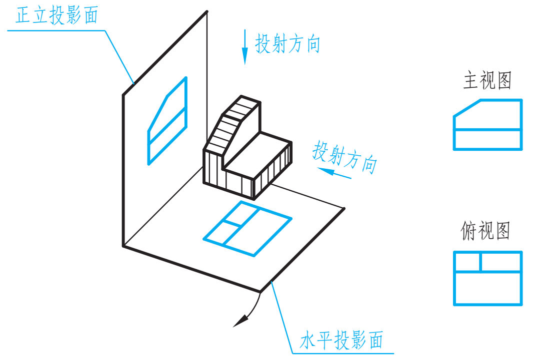


图 6-53　第一角投影

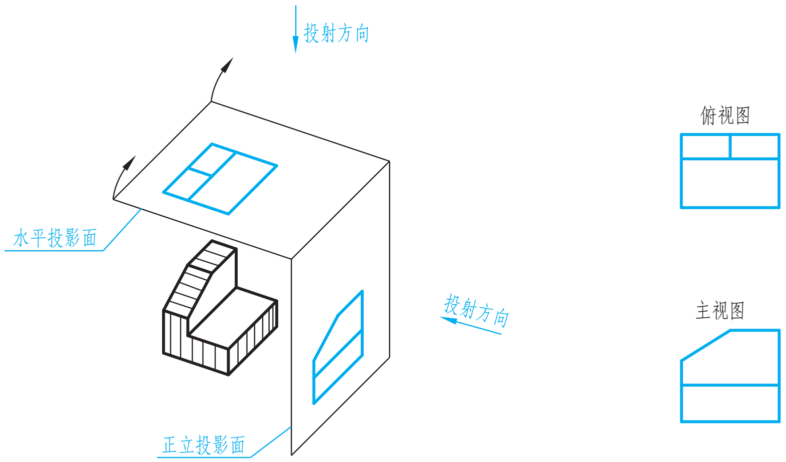


图 6-54　第三角投影

我国国家标准《技术制图》规定，机件图样按正投影法绘制，优先采用第一角投影（第一角画法）。有些国家如美国、日本、澳大利亚和加拿大等国家采用第三角投影（第三角画法）。由于国际技术交流不断发展，因而有必要对第三角投影（GB/T 16948—1997）的特点做一简单的介绍。

第三角投影也是用正六面体的六个平面作为基本投影面，机件放置在透明的六面体之中，观察者由外向里观察，得到物体的六个基本视图。它们分别是：主视图、俯视图、右视图、左视图、仰视图、后视图。其展开方法如图 6-55 所示。展开后各基本视图配置关系如图 6-56 所示。各视图间仍保持三等关系，除后视图外，其余视图靠近主视图的一边，是物体的前部，远离主视图的一边，是物体的后部。此关系读者可与图 6-1 第一角投影做一比较。采用第三角投影时，必须在图样中画出第三角投影的识别符号，如图 6-57 所示，该符号一般标在所画图样标题栏的上方或左方。

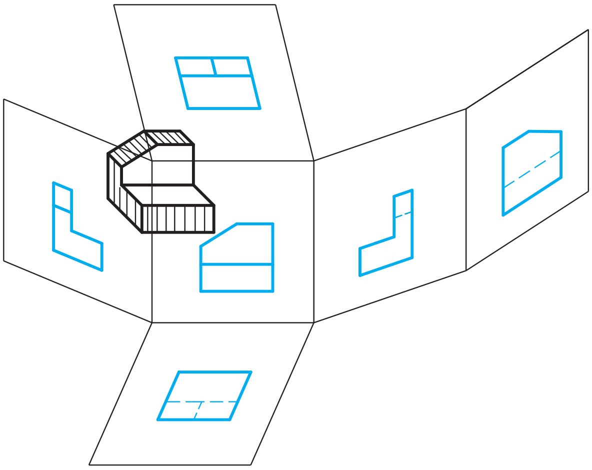


图 6-55　第三角画法六个基本视图的展开

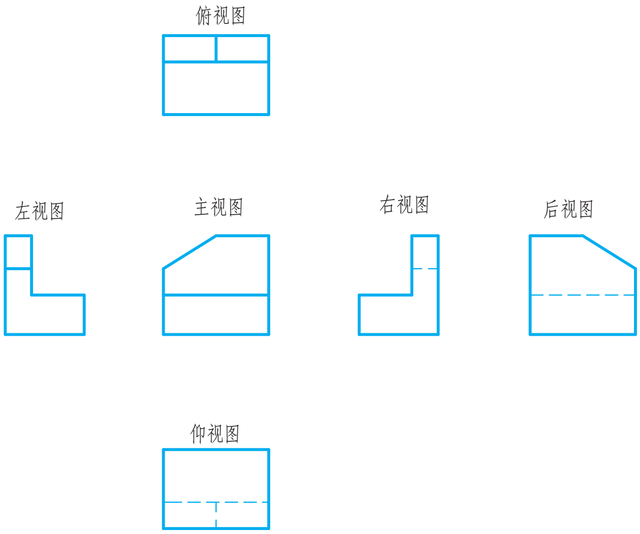


图 6-56　第三角画法六个基本视图的配置

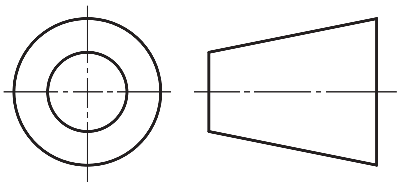


图 6-57　第三角画法的识别符号

第 7 章

标准件及常用件

各种机器设备均大量使用螺栓、螺钉、螺母、垫圈、键、销和滚动轴承等，为了提高产品的质量，缩短产品设计周期和降低成本，这些零件和部件的结构和尺寸已全部标准化，称这些零件和部件为标准零件和标准部件，简称标准件，并由专门工厂生产。

还有一些零件，在机器设备中也常使用，如齿轮、蜗轮、蜗杆等。这些零件的结构也基本定型，零件上的部分尺寸和参数也有统一标准，这类零件称为常用件。

7.1　螺纹及其规定画法与标注

螺纹是机器零件上的常见结构，可用于零件间的连接、紧固，也可用于传递运动和动力。

7.1.1　螺纹的基本知识

1. 螺纹的形成

螺纹是指在圆柱或圆锥内、外表面上加工的螺旋槽，其断面形状有三角形、矩形和梯形等。圆柱（或圆锥）外表面上的螺纹称为外螺纹；圆柱（或圆锥）内表面上的螺纹称为内螺纹。图 7-1a 和 b 所示为在车床上加工外螺纹和内螺纹的情况；图 7-1c 所示为大量生产螺纹紧固件时，滚压螺纹的原理图；图 7-1d 所示为手工加工螺纹用的丝锥和板牙，丝锥用于加工内螺纹，板牙用于加工外螺纹。

2. 螺纹的要素

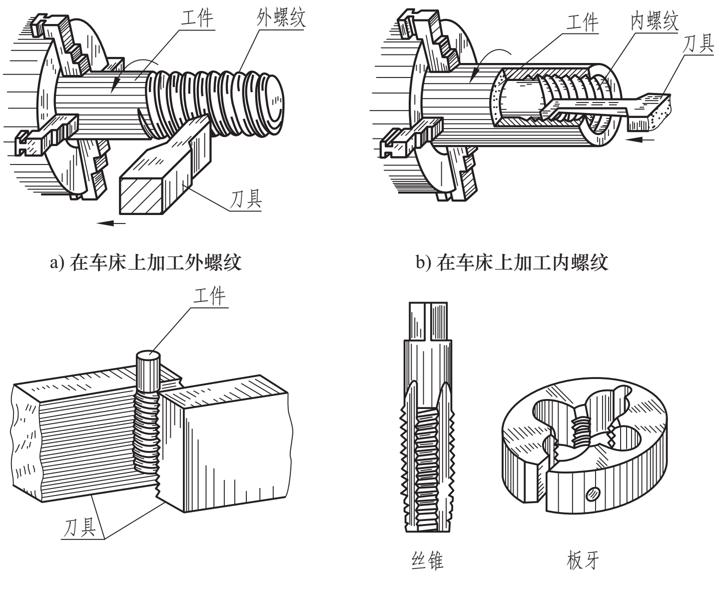
（1）螺纹牙型　在通过螺纹轴线的剖面上，螺纹的轮廓形状称为螺纹牙型，常见的螺纹牙型有三角形、梯形和锯齿形等，如图 7-2 所示。

（2）公称直径　螺纹的直径有大径（d、D）小径（d_1、D_1）和中径（d_2、D_2）。螺纹公称直径通常是指螺纹的大径，它代表了螺纹的直径尺寸，如图 7-3 所示。

（3）线数　螺纹有单线螺纹和多线螺纹之分。沿一条螺旋线形成的螺纹称为单线螺纹，沿两条或两条以上在轴向等距分布的螺旋线所形成的螺纹称为多线螺纹，用 n 表示螺纹的线数，如图 7-4 所示。

（4）螺距和导程

1）螺距。相邻两牙在中径线上对应两点间的轴向距离称为螺距，用 P 表示。



a) 在车床上加工外螺纹　b) 在车床上加工内螺纹

c) 滚压螺纹　d) 手工加工螺纹用的工具

图 7-1　螺纹的加工

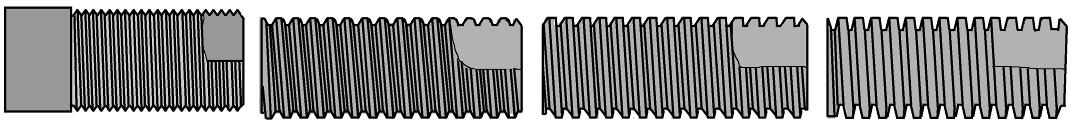
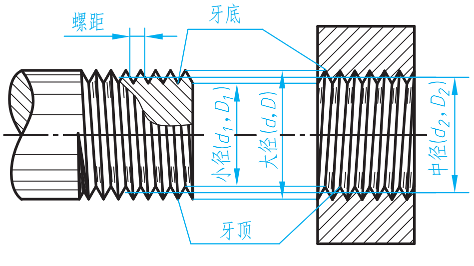


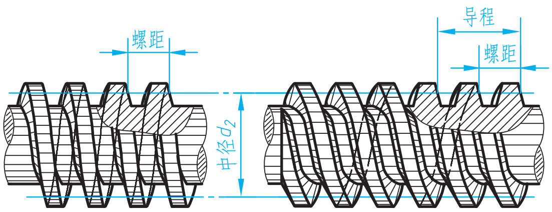
图 7-2　螺纹的牙型

2）导程。同一条螺纹上的相邻两牙在中径线上对应两点间的轴向距离称为导程，用P_h表示，如图 7-4 所示。螺距与导程的关系为：螺距＝导程/线数，即：$P=P_h/n$。



a) 外螺纹　b) 内螺纹

图 7-3　螺纹的直径



a) 单线螺纹　b) 双线螺纹

图 7-4　螺纹的线数、螺距和导程

（5）旋向　螺纹按旋进的方向分为右旋螺纹和左旋螺纹。符合右手定则的螺纹称为右旋螺纹；符合左手定则的螺纹称为左旋螺纹，如图 7-5 所示。

3. 螺纹的种类

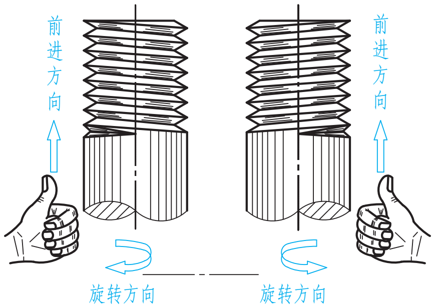
螺纹的牙型、公称直径和螺距等符合标准规定的称为标准螺纹，只有牙型符合标准的称为特殊螺纹，牙型不符合标准的称为非标准螺纹。螺纹按用途可分为连接螺纹和传动螺纹。

（1）连接螺纹　连接螺纹用于两个零件之间的连接，有以下几种：

1）普通螺纹。牙型为三角形，牙顶和牙底稍许削平，牙型角为 60°，特征代号为 M。普通螺纹分为粗牙和细牙两种，细牙普通螺纹与粗牙普通螺纹的区别是在相同的大径条件下螺距较小，见附表 A-1、附表 A-2。

2）管螺纹。牙型为三角形，牙顶和牙底成圆弧形，牙型角为 55°，主要用于管件的连接，分为 55°非密封管螺纹（特征代号为 G，见附表 A-3）和 55°密封管螺纹。

（2）传动螺纹　传动螺纹用于传递运动和动力，常用的传动螺纹有：



a) 左旋　　b) 右旋

图 7-5　螺纹的旋向

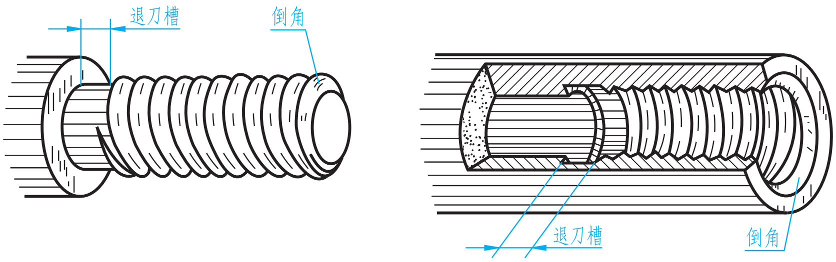
1）梯形螺纹。牙型为梯形，牙型角为 30°，特征代号为 Tr，见附表 A-4。

2）锯齿形螺纹。牙型为不等腰三角形，牙型两侧面与轴线垂直线夹角分别为 3°和 30°，特征代号为 B。

3）矩形螺纹。牙型为矩形，为非标准螺纹，无特征代号，各部分的尺寸根据设计确定。

4. 螺纹的结构

为了便于内、外螺纹的装配，通常在螺纹的起始端加工成 90°的锥面，称为倒角。在车削螺纹时，在螺纹的尾部由于刀具逐渐离开工件，使螺纹尾部牙型不完整，称为螺尾。有时为了避免出现螺尾，在螺纹末端预先制出退刀槽，如图 7-6 所示。



a) **外螺纹的倒角及退刀槽**　　b) **内螺纹的倒角及退刀槽**

图 7-6　倒角和退刀槽

7.1.2　螺纹的规定画法

1. 外螺纹的画法

螺纹的大径（牙顶）和螺纹终止线用粗实线表示，螺纹的小径（牙底）用细实线表示，且画入倒角内。在投影为圆的视图上，大径画粗实线圆，小径画约 3/4 的细实线圆，由倒角形成的粗实线圆省略不画。一般小径尺寸可按大径的 0. 85 画出，如图 7-7 所示。

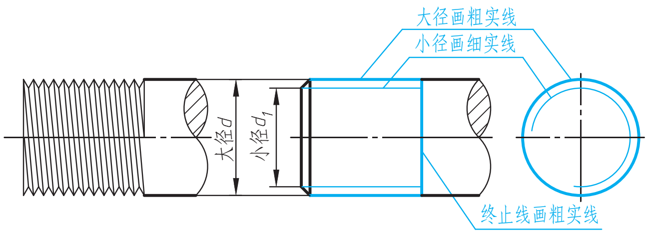


图 7-7　外螺纹的画法

2. 内螺纹的画法

在剖视图上，螺纹小径（牙顶）和螺纹终止线用粗实线表示，螺纹大径（牙底）用细实线表示。在剖视或断面图中剖面线都必须画到粗实线。在不剖的视图上，全用虚线表示。在投影为圆的视图上，大径画约 3/4 细实线圆，小径画粗实线圆，由倒角形成的圆不画，如图 7-8 所示。

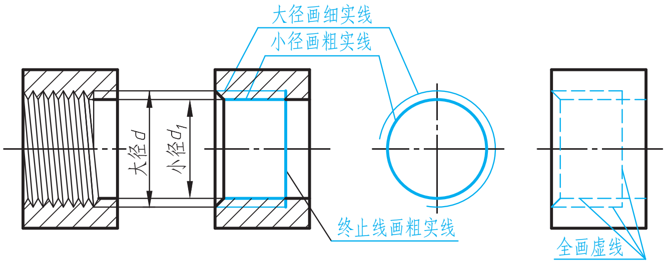


图 7-8 内螺纹的画法

对于不通孔的内螺纹，钻孔深度要大于螺纹部分的深度，如图 7-9 所示。钻孔底端锥顶角画成 120°。图 7-10 所示为螺孔中有相贯线的画法。

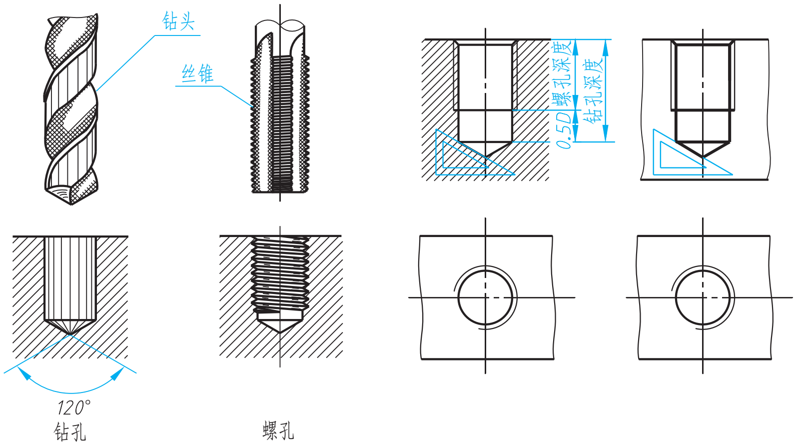


图 7-9 不通孔内螺纹画法

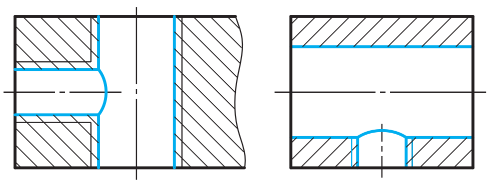


图 7-10 螺孔相贯线画法

3. 内、外螺纹旋合的画法

内、外螺纹旋合到一起的条件是内、外螺纹的五要素完全相同。在剖视图中，内、外螺纹旋合部分应按外螺纹的规定画法绘制，其余部分仍按各自的规定画法表示，如图 7-11 所示。

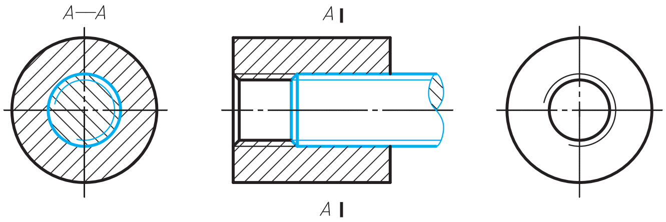
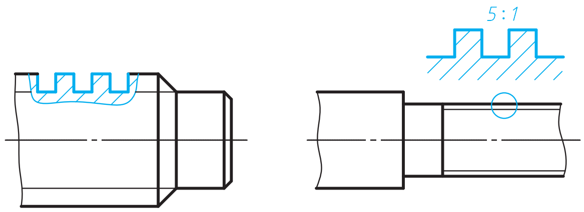


图 7-11　螺纹旋合画法

4. 螺纹牙型的表示法

对于非标准螺纹（如矩形螺纹），一般需要用局部剖视图画出几个牙型或用局部放大图表示，如图 7-12 所示。



a)　　b)

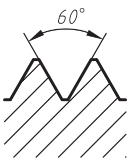
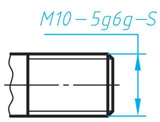
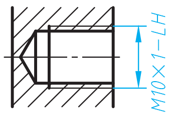
图 7-12　非标准螺纹的牙型表示法

7.1.3　螺纹的标注

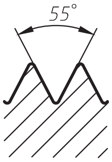
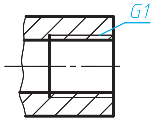
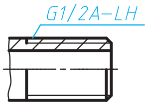
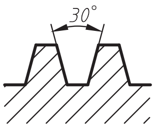
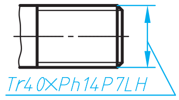
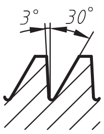
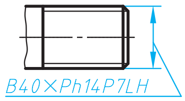
因为各种螺纹画法相同，要区别各种不同螺纹，必须在图样上对螺纹进行标注。

常见标准螺纹的规定标注示例见表 7-1。

表 7-1　常见标准螺纹的特征代号和标注示例

螺纹分类		牙型图	特征代号	标注示例	图例	注释
连接螺纹	粗牙普通螺纹		M	M10-5g6g-S 短旋合长度 顶径公差带 中径公差带 大径 特征代号		1. 粗牙螺纹不标注螺距 2. 左旋螺纹标注“LH”，右旋不标注
	细牙普通螺纹			M10×1-LH 左旋 螺距 大径 特征代号		

续表

螺纹分类		牙型图	特征代号	标注示例	图例	注释
连接螺纹	55°非密封管螺纹		G	G1 尺寸代号 特征代号		1. 左旋螺纹注“—LH”，右旋不标注 2. 外螺纹中径公差分为 A、B 两级。内螺纹不标注公差等级 3. 由大径引出标注
				G½A-LH 左旋 等级代号 尺寸代号 特征代号		
传动螺纹	梯形螺纹		Tr	Tr40 ×Ph14P7LH 左旋 螺距 导程 公称直径 特征代号		左旋螺纹注“LH”右旋不标注
	锯齿形螺纹		B	B40 ×Ph14P7LH 左旋 螺距 导程 公称直径 特征代号		左旋螺纹注“LH”右旋不标注

螺纹的完整标注格式为

[特征代号] [公称直径]×[Ph 导程 P 螺距]-[公差带代号]-[旋合长度代号]-[旋向]

单线螺纹导程与螺距相同[Ph 导程 P 螺距]一项改为[螺距]。

（1）特征代号　普通螺纹用“M”作为特征代号；梯形螺纹用“Tr”作为特征代号；锯齿形螺纹用“B”作为特征代号；55°非密封管螺纹用“G”作为特征代号。

（2）公称直径　除管螺纹的尺寸代号为管子的内径，其余螺纹的公称直径均为大径。管螺纹的尺寸是以英寸为单位，标注时使用指引线，从大径引出，并水平标注，如图7-13所示。

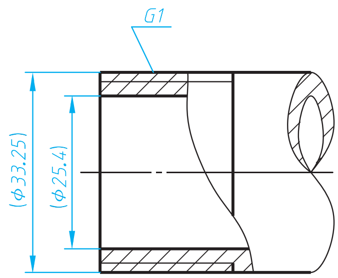


图 7-13　管螺纹的标注

（3）导程 P_h（螺距 P）　单线螺纹只标注螺距；多线螺纹导程、螺距均需要标注。粗牙普通螺纹螺距已完全标准化，查表即可，不标注。

（4）公差带代号　由表示公差带等级的数字和表示基本偏差的字母（外螺纹用小写字母，内螺纹用大写字母）组成。螺纹公差带代号标注时应顺次标注中径公差带代号及顶径公差带代号，当两个公差带代号完全相等时，可只标注一项。当对螺纹公差无要求时可省略不标。

（5）旋合长度代号　分别用 S、N、L 来表示短、中、长三种不同旋合长度，其中 N 省

略不标。

（6）旋向　当旋向为右旋时，不标注；当左旋时要标注“LH”两个大写字母。

7.2　螺纹紧固件及其标记与画法

常见的螺纹紧固件有螺栓、螺柱、螺钉、螺母、垫圈等，如图 7-14 所示。

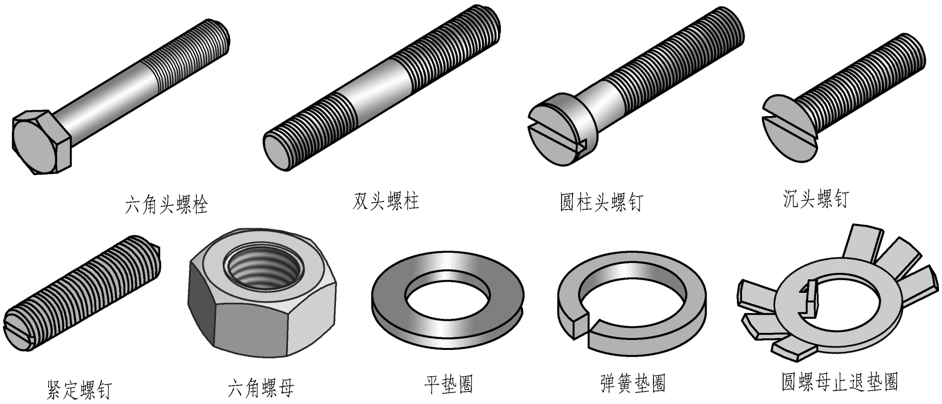


图 7-14　常见的螺纹紧固件

7.2.1　螺纹紧固件的标记及画法

1. 紧固件的标记方法（GB/T 1237—2000）

螺纹紧固件都是标准件，种类繁多，附表 B-1～附表 B-9 给出了常用的螺纹紧固件。螺纹紧固件有完整标记和简化标记两种标记方法。完整标记形式如下：



如六角头螺栓公称直径 $d=10$mm，公称长度 $l=70$mm，性能等级为 10.9 级，产品等级为 A 级，表面氧化。其完整标记为：

螺栓　GB/T 5782—2000-M10×70-10.9-A-O

在一般情况下，紧固件采用简化标记。

上述螺纹的标记可简化为：螺栓　GB/T 5782 M10×70

常见紧固件的标记示例可查阅本书附录及有关产品标准。

2. 按标准规定数值画图

由附表 B-1～附表 B-9 查出螺纹紧固件各部分的尺寸，按尺寸画出螺纹紧固件。

3. 比例画法

为了提高绘图速度，螺纹紧固件各部分的尺寸都可按螺纹公称直径的一定比例画出，这种画法称为比例画法，如图 7-15、图 7-16、图 7-17 所示。

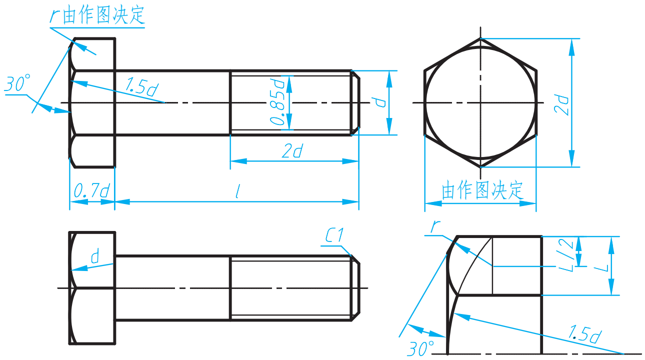


图 7-15　螺栓比例画法

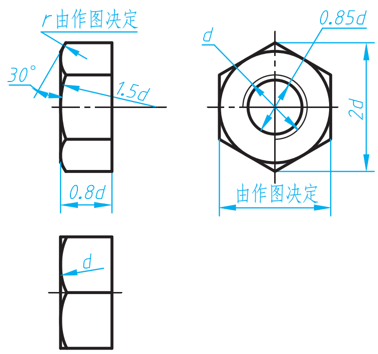


图 7-16　螺母比例画法

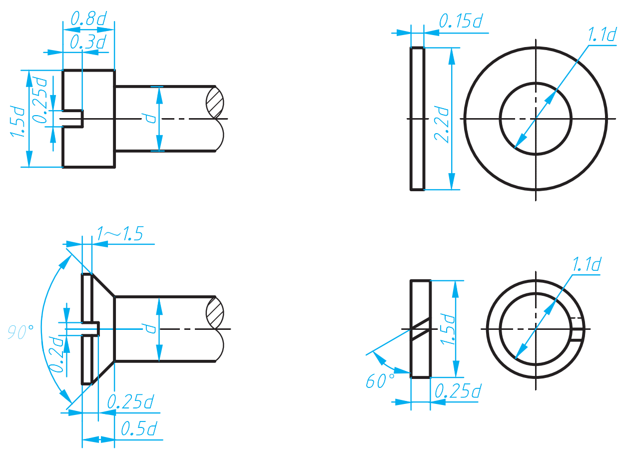
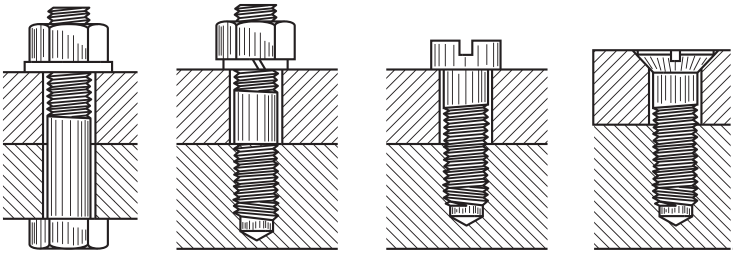


图 7-17　螺钉头及垫圈比例画法

7.2.2　螺纹紧固件装配的画法

螺纹紧固件连接有螺栓连接、螺柱连接和螺钉连接等，如图 7-18 所示。



螺栓连接　螺柱连接　螺钉连接　螺钉连接

图 7-18　螺纹紧固件连接

1. 螺纹紧固件装配画法的规定

1）两零件的接触面画一条粗实线，不接触面画两条粗实线。

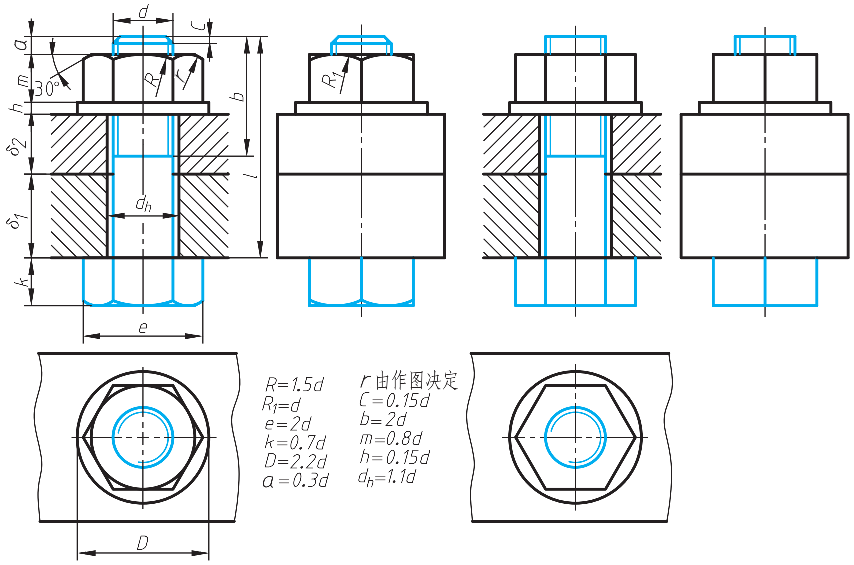
2）被连接的两相邻零件剖面线方向相反或方向一致间距不同，但同一零件在各剖视图中剖面线方向和间距要相同。

3）当剖切平面通过螺杆的轴线时，对于螺柱、螺栓、螺钉、螺母及垫圈等均按不剖绘制。

2. 螺栓连接

螺栓连接就是将螺栓杆部穿过被连接两零件的通孔，再套上垫圈旋紧螺母，将两零件固定在一起。

图 7-19 所示为螺栓连接画法，可以采用简化画法或比例画法。简化画法就是螺栓头部及螺母的倒角及螺杆端部的倒角省略不画。



a) 比例画法　b) 简化画法

图 7-19　螺栓的连接画法

螺栓公称长度 l 的确定，可按下式求出

$$l \geqslant \delta_1 + \delta_2 + h + m + a$$

式中　δ_1，δ_2——两被连接板的厚度；

h——垫圈厚度；

m——螺母厚度；

a——螺栓伸出螺母的长度，$a = P + C$，其中 P 为螺距宽，C 为倒角宽。

计算出 l 值后再从附表中，选取与其相近的标准值。

3. 螺柱连接

螺柱又称双头螺柱，图 7-20 所示为螺柱连接的画法，可以采用简化画法或比例画法。

螺柱两端都有螺纹，其中一端旋入被连接零件的螺孔中，b_m 为旋入深度，它的长度由被连接零件的材料而定：

旋入钢或青铜中取 $b_m = d$；

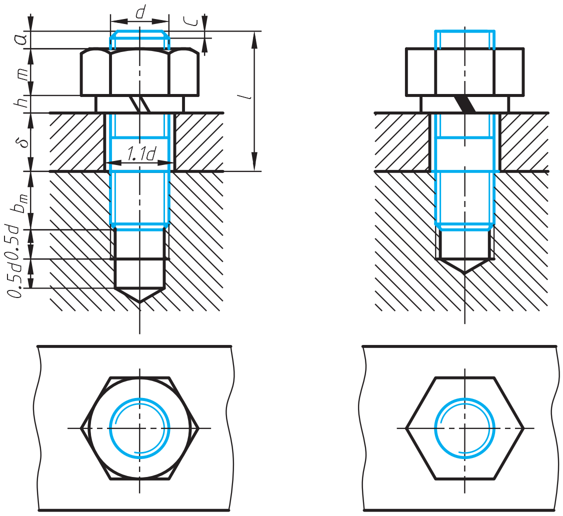
旋入铸铁中取 $b_m = 1.25d$；

旋入材料的强度在铸铁和铝之间取 $b_m = 1.5d$；

旋入铝合金中取 $b_m = 2d$。

螺柱公称长度 l 的确定，可按公式 $l \geqslant \delta + h + m + a$ 计算，再从附表中选取相近的标准值。

螺柱连接简化画法中，弹簧垫圈的开口可画成一条加粗线。未钻通的螺孔可不画钻孔深度，仅按螺纹部分深度画出。



a) 比例画法　　b) 简化画法

图 7-20　螺柱连接画法

4. 螺钉连接

图 7-21 所示为圆柱头螺钉连接的画法，图 7-22 所示为沉头螺钉连接的画法。公称长度 l 的确定可按公式 $l \geqslant \delta + b_m$ 计算（b_m 取值可参考螺柱连接），再从附表中选取相近的标准值。螺钉头部的槽在投影为圆的视图上画成与水平成 45°角。当槽宽≤2mm 时，槽的投影可涂黑表示。图 7-23 所示为紧定螺钉连接的画法。

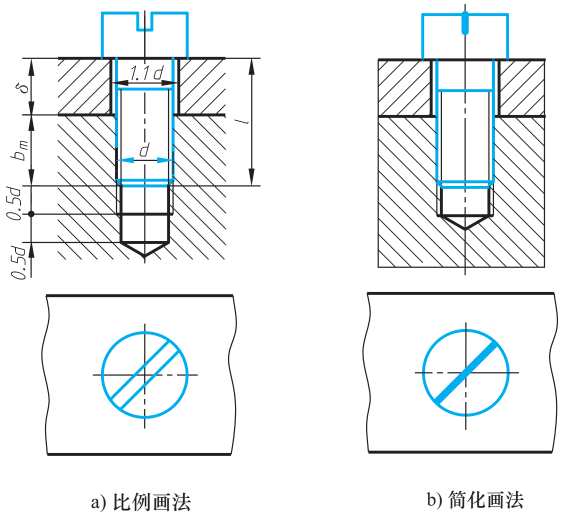


图 7-21　圆柱头螺钉连接画法

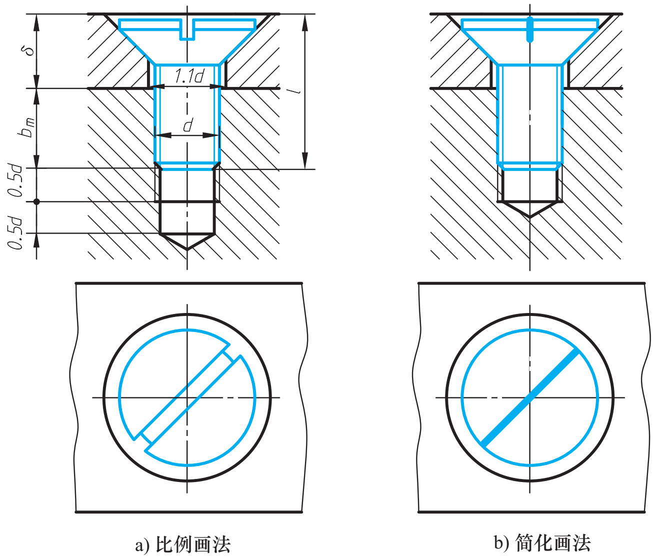


图 7-22　沉头螺钉连接画法

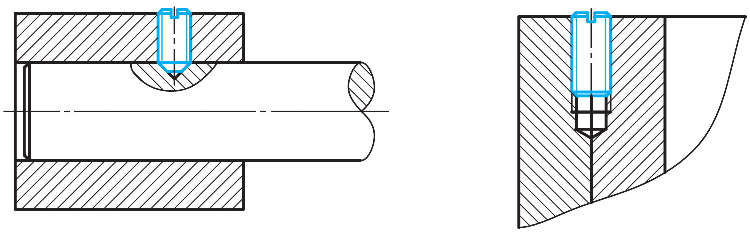


图 7-23　紧定螺钉连接画法

7.3 键、销和滚动轴承

7.3.1 键

1. 键的作用、种类和标记

为了使轮和轴一起转动，常在轴上和轮毂孔内加工一个键槽，然后装入键，这样就可以使轮和轴一起转动。常用的键有普通平键、半圆键和钩头楔键，如图 7-24 所示。

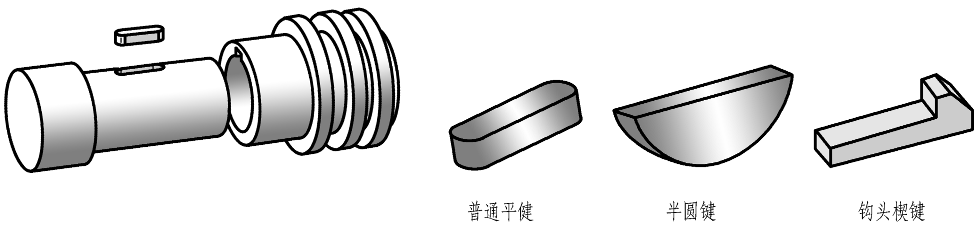


图 7-24　键的作用和种类

普通平键又有 A 型（圆头）、B 型（方头）和 C 型（单圆头）三种类型，如图 7-25 所示。

键的标记格式为：键　$b \times h \times L$　标准编号

其中：b 为键的宽度，h 为键的高度，L 为键的公称长度。

根据被连接轴的直径尺寸由附表 B-10 可查得键和键槽的尺寸，键长小于轮毂的长度选用系列中的标准尺寸。

标记示例：A 型普通平键，$b = 16$mm，$h = 10$mm，$L = 80$mm，标记为键　16×10×80　GB/T 1096—2003

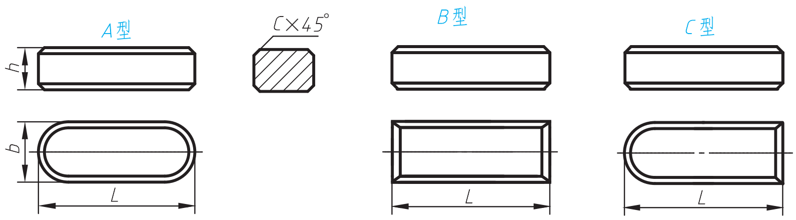


图 7-25　普通平键

2. 普通平键的连接

普通平键的两侧面与键槽的两侧面相接触，键的底面与轴键槽底面相接触，均画一条粗实线。键的顶面与轮孔键槽底面不接触，要画两条粗实线。其中主视图剖切平面沿轴线方向，键为实心零件按不剖绘制，左视图剖切平面垂直轴线方向，键要画剖面线，如图 7-26 所示。如图 7-27 所示为轴上键槽和轮孔内键槽的画法及尺寸标注，键槽尺寸参照附表 B-10 确定。

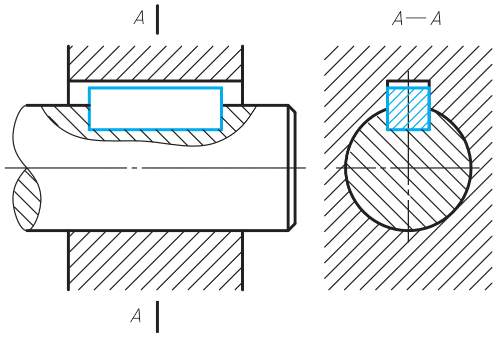
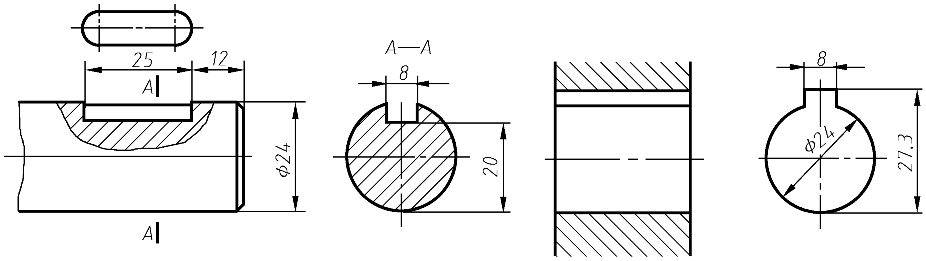


图 7-26　普通平键连接画法

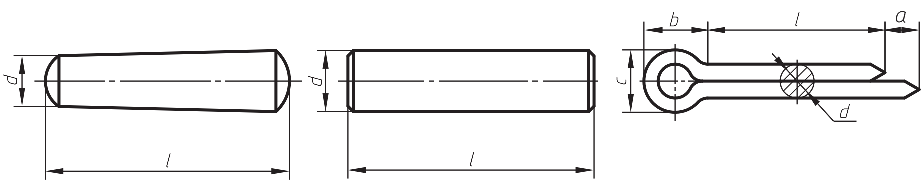


a) 轴上键槽　　b) 轮孔内键槽

图 7-27　键槽的画法及尺寸标注

7.3.2　销

销主要用作装配定位，也可用作连接零件，还可作为安全装置中的过载剪断元件。常用的销有圆柱销、圆锥销和开口销，如图 7-28 所示。销的结构形状和尺寸已标准化，见附表 B-12～附表 B-14。圆柱销常用于两零件的连接或定位，圆锥销常用于两零件的定位，而开口销一般与槽形螺母配合使用，防止螺母松脱，销的连接画法如图 7-29 所示。



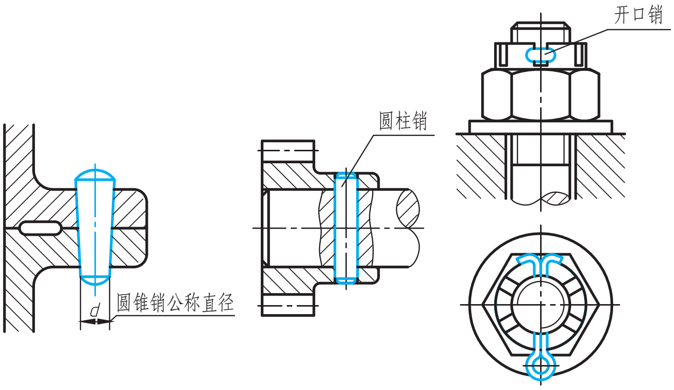
a) 圆锥销　　b) 圆柱销　　c) 开口销

图 7-28　销的种类

销的标记示例：

公称直径 $d=8$mm，公称长度 $l=30$mm 的圆柱销标记为销 GB/T 119.1　8×30

公称直径 $d=10$mm，公称长度 $l=60$mm 的 A 型圆锥销标记为销 GB/T 117　10×60



a) 定位　　b) 连接　　c) 防松

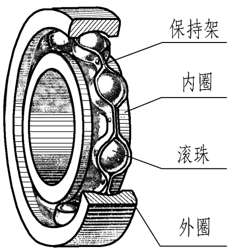
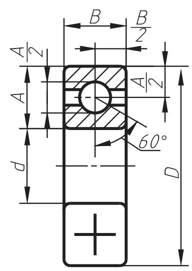
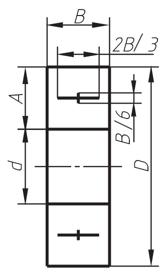
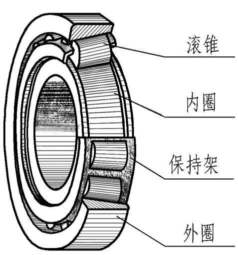
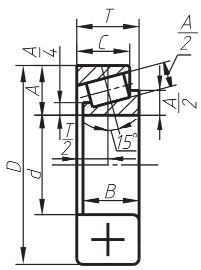
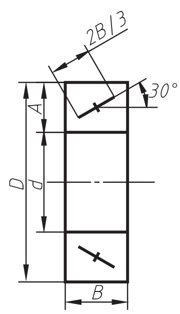
图 7-29　销连接

公称 d=5mm，公称长度 l=50mm 的开口销标记为销 GB/T 91　5×50

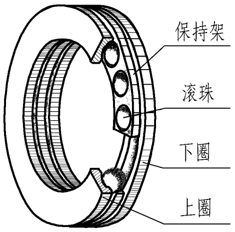
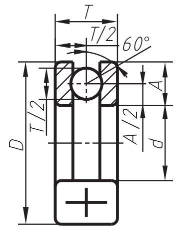
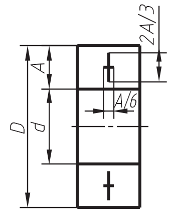
7.3.3　滚动轴承

滚动轴承用于支撑轴的旋转，因为它结构紧凑、摩擦阻力小、效率高，因而被广泛地使用在机器中。滚动轴承是标准部件，种类很多，在装配图中根据外径、内径和宽度等几个主要尺寸用规定画法或特征画法画出，见表 7-2。轴承的型号和尺寸可根据轴承手册选取。

表 7-2　常见滚动轴承的规定画法及特征画法

滚动轴承的结构形式	类型名称和标准代号	由标准中查出数据	规定画法	特征画法
	深沟滚动轴承 （60000 型） GB/T 276—2013	D d B		
	圆锥滚子轴承 （30000 型） GB/T 297—2015	D d T B C		

（续）

滚动轴承的结构形式	类型名称和标准代号	由标准中查出数据	规定画法	特征画法
	推力球轴承 （51000 型） GB/T 301—2013	D d T		

滚动轴承的标记示例：

（1）深沟球轴承的标记　滚动轴承 6210 GB/T 276—2013。

6——类型代号，表示深沟球轴承；

2——尺寸系列代号，表示 02 系列；

10——内径代号，表示公称内径 $d=10\times5\text{mm}=50\text{mm}$。

（2）圆锥滚子轴承标记　滚动轴承 30312 GB/T 297—2015。

3——类型代号，表示圆锥滚子轴承；

03——尺寸系列代号，表示 03 系列；

12——内径代号，表示内径 $d=12\times5\text{mm}=60\text{mm}$。

7.4　齿轮

7.4.1　齿轮的基本知识

齿轮被大量地使用在各种机器设备中，齿轮传动用于传递动力或改变运动方向、运动速度、运动方式等。

常见的齿轮传动有：

（1）圆柱齿轮传动　一般用于两平行轴之间的传动，如图 7-30a 所示。

（2）锥齿轮传动　一般用于两相交轴之间的传动，如图 7-30b 所示。

（3）蜗轮蜗杆传动　用于两交叉轴之间的传动，如图 7-30c 所示。

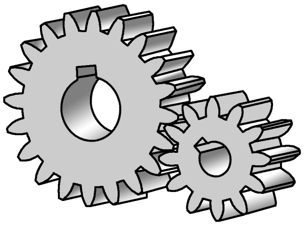
（4）齿轮齿条传动　用于直线运动和旋转运动的相互转换，如图 7-30d 所示。

齿轮按齿的方向分为直齿、斜齿、人字齿及螺旋齿齿轮，按齿廓曲线可分为渐开线、摆线及圆弧齿轮等，一般机器中常用的为渐开线齿轮。

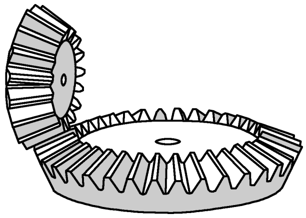
7.4.2　直齿圆柱齿轮的基本参数及尺寸

图 7-31a 所示为相互啮合的一对齿轮的一部分，如果主动齿轮的齿数为 z_1，转速为 n_1，从动齿轮的齿数为 z_2，转速为 n_2，它们转速的比值称为传动比，即

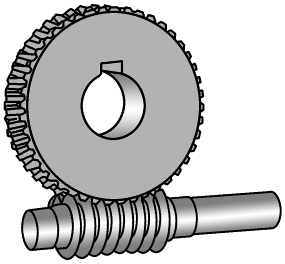
$$i=\frac{n_1}{n_2}=\frac{z_2}{z_1}$$



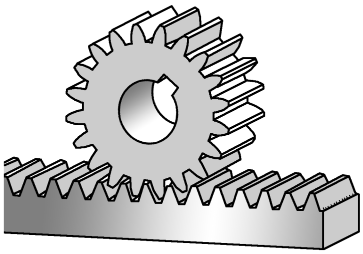
a) 直齿圆柱齿轮传动



b) 直齿锥齿轮传动



c) 蜗轮蜗杆传动



d) 齿轮齿条传动

图 7-30　常见的齿轮传动

齿轮各部分的名称如下：

（1）齿顶圆直径 d_a　通过轮齿顶部的假想圆柱的直径称为齿顶圆直径。

（2）齿根圆直径 d_f　通过轮齿根部的假想圆柱的直径称为齿根圆直径。

（3）分度圆直径 d　在齿轮上存在一个齿厚 s 和齿槽宽 e 相等的圆，称为分度圆，其直径称为分度圆直径。

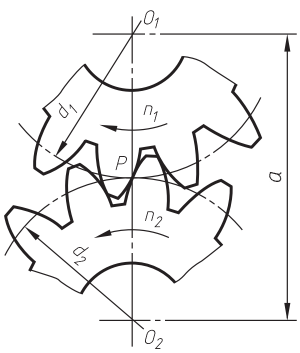
（4）齿顶高 h_a　分度圆到齿顶圆的径向距离称为齿顶高。

（5）齿根高 h_f　分度圆到齿根圆的径向距离称为齿根高。

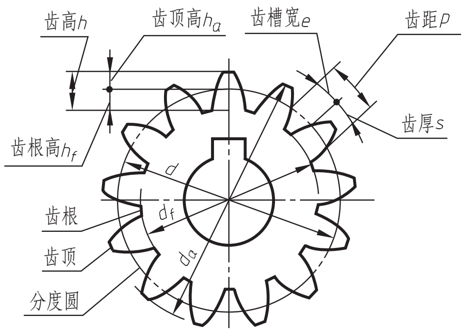
（6）齿高 h　齿顶圆到齿根圆的径向距离称为齿高。

（7）齿距 p　分度圆上相邻两齿对应点的弧长称为齿距。

（8）模数 m　因为分度圆的周长为：$\pi d = pz$，则分度圆的直径



a) 齿轮啮合



b) 齿轮各部分名称

图 7-31　直齿圆柱齿轮各部分名称

$$d=\frac{p}{\pi}z$$

式中　$\frac{p}{\pi}$——齿轮的模数，用 m 表示，单位为 mm。因 $m=\frac{p}{\pi}$，所以 $d=mz$。

由上式看出模数越大，齿轮的轮齿越大；模数越小，齿轮的轮齿越小。

齿轮加工使用专门的齿轮加工机床和专用的齿轮刀具，为了减少齿轮刀具的数量，国家标准对模数做了统一规定，见表 7-3。

表 7-3　标准模数（GB/T 1357—2008）　（单位：mm）

第一系列	1　1.25　1.5　2　2.5　3　4　5　6　8　10　12　16　20　25　32　40　50
第二系列	1.125　1.375　1.75　2.25　2.75　3.5　4.5　5.5　（6.5）　7　9　11　14　18　22　28　36　45

注：在选用模数时，应优先采用第一系列，其次第二系列，括号内的模数尽量不用。

模数是齿轮的重要参数，已知齿轮的模数和齿数就可以算出各部分的尺寸，计算公式见表 7-4。

表 7-4　标准直齿圆柱齿轮的计算公式及举例　（单位：mm）

基本参数：模数 m，齿数 z			计算举例
名称	符号	计算公式	已知：$m=3$，$z=50$
齿顶高	h_a	$h_a=m$	$h_a=3$
齿根高	h_f	$h_f=1.25m$	$h_f=3.75$
齿高	h	$h=2.25m$	$h=6.75$
分度圆直径	d	$d=mz$	$d=150$
齿顶圆直径	d_a	$d_a=m(z+2)$	$d_a=156$
齿根圆直径	d_f	$d_f=m(z-2.5)$	$d_f=142.5$
齿距	p	$p=m$	$p=3$
中心距	a	$a=m(z_1+z_2)/2$	

7.4.3　直齿圆柱齿轮的画法

1. 单个齿轮的画法

表达单个齿轮通常用两个视图，轴线取水平方向。在圆视图上，用粗实线画齿顶圆，用点画线画分度圆，用细实线画齿根圆，齿根圆也可省略不画。在非圆视图上，一般画成剖视图，齿顶线和齿根线用粗实线表示，分度线用细点画线表示，且细点画线要超出轮廓线，规定轮齿部分不画剖面符号。如果非圆视图不作剖视时，齿顶线用粗实线画，分度线用点画线画，齿根线用细实线画或省略不画，如图 7-32 所示。

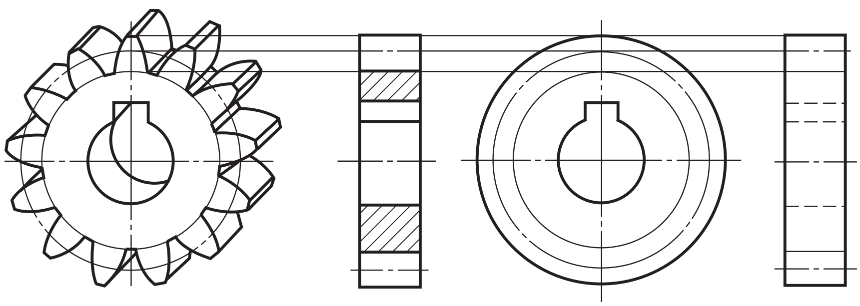


图 7-32　直齿圆柱齿轮画法

一张齿轮零件图除图形之外，还要标注尺寸、有关参数和技术要求，如图 7-33 所示为一直齿圆柱齿轮的工作图。

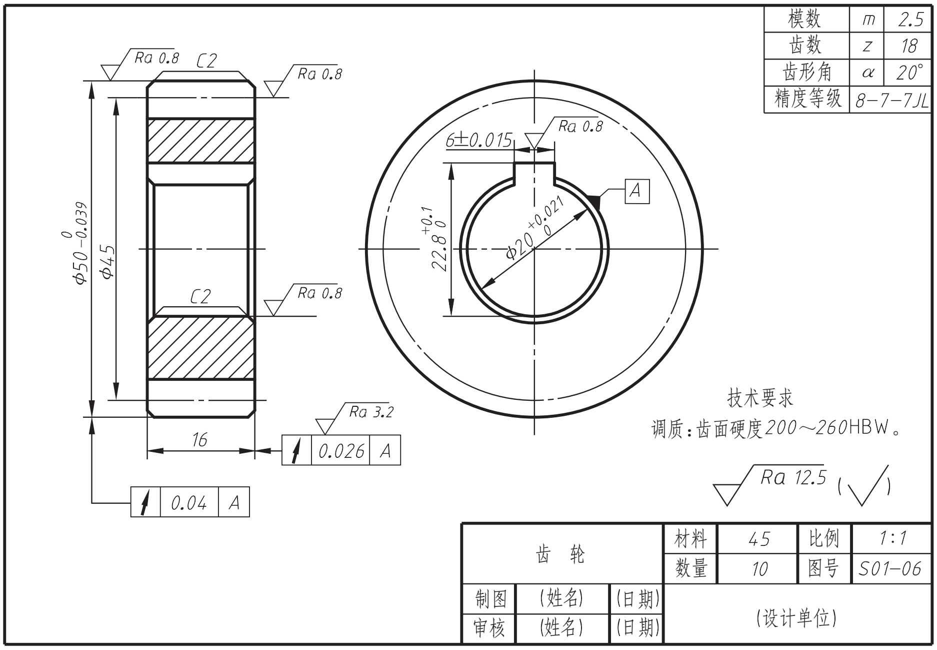
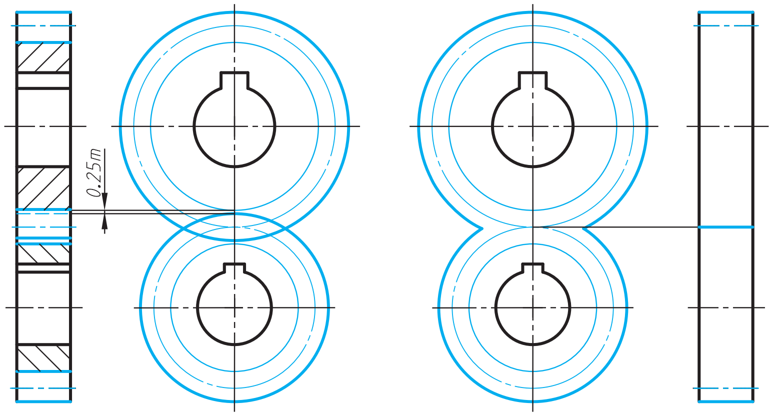


图 7-33　直齿圆柱齿轮工作图

2. 齿轮啮合画法

两齿轮啮合时，啮合条件是它们的模数 m 相等，它们的分度圆相切，这相当于两个摩擦轮做无滑动的滚动，切点称为节点用 P 表示，如图 7-31a 所示。过节点的圆称为节圆，对于标准轮齿，齿轮的节圆直径等于分度圆直径。

齿轮啮合一般画两个视图，在圆视图上，齿顶圆用粗实线，齿根圆用细实线，可以省略不画，节圆用细点画线，注意两节圆要相切，啮合区部分的齿顶圆也可以不画，如图 7-34b 所示。非圆视图一般画成剖视图，线型与单个齿轮的规定一样。要注意在两个齿轮的啮合区



a)　　　　b)

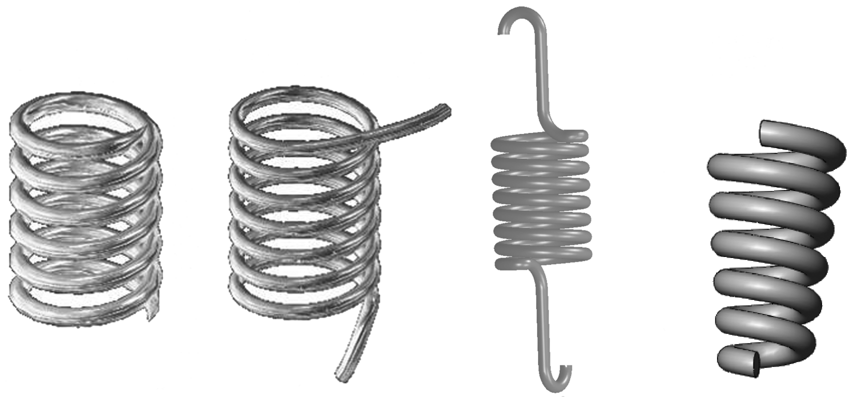
图 7-34　直齿圆柱齿轮啮合画法

部分，一个齿轮的齿顶圆（或齿顶线）与另一个齿轮的齿根圆（或齿根线）之间要有 0.25m 的间隙。在剖视图的啮合区部分应画出一条细点画线、三条粗实线和一条虚线，该虚线为一个齿轮的齿顶线，被另一个齿轮的轮齿挡住。此虚线也可省略不画。非圆视图不剖画法如图 7-34b 所示。

7.5 弹簧

7.5.1 弹簧的种类和作用

弹簧是机器中常见的一种零件，具有缓冲、吸振、储能、测力和控制机构运动的功能。弹簧的种类很多，按形状不同可分为螺旋弹簧、碟形弹簧、环形弹簧、盘簧和板弹簧等，如图 7-35 所示，本节只介绍圆柱螺旋弹簧。



a) 压缩弹簧　　b) 扭转弹簧　　c) 拉伸弹簧　　d) 锥弹簧

图 7-35　弹簧

7.5.2 圆柱螺旋压缩弹簧各部分的名称和尺寸计算

圆柱螺旋压缩弹簧参数如图 7-36 所示。

（1）簧丝直径 d　制造弹簧的钢丝直径。

（2）弹簧外径 D_2　弹簧的最大直径。

（3）弹簧内径 D_1　弹簧的最小直径。

（4）弹簧中径 D　弹簧的平均直径。

（5）节距 t　除两端的支承圈外，相邻两圈对应点的轴向距离。

（6）旋向　弹簧分为右旋和左旋两种。

（7）支承圈数 n_2、有效圈数 n 和总圈数 n_1

1）支承圈数 n_2。为使弹簧平稳，弹簧两端要磨平，紧靠磨平的几圈起支承作用，称为支承圈。支承圈数可取 1.5 圈、2 圈或 2.5 圈。

2）有效圈数 n。除支承圈之外的各圈都参与工作，各圈保持相同的节距，这些圈数称为有效圈数。

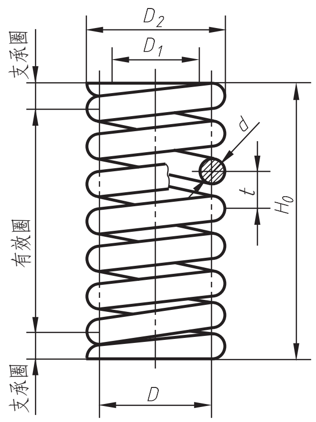


图 7-36　圆柱螺旋压缩弹簧参数

3）总圈数 n_1。支承圈数和有效圈数之和，$n_1=n+n_2$。

（8）自由高度 H_0　弹簧在无外力作用时的高度，计算式为

$$H_0=nt+(n_2-0.5)d$$

（9）弹簧丝展开长度 L　展开长度是指制造弹簧的钢丝长度，其计算公式为

$$L\approx n_1\sqrt{(\pi D_2)^2+t^2}$$

7.5.3　圆柱螺旋压缩弹簧的规定画法

螺旋弹簧可以画成剖视图，也可以画成视图。在平行于螺旋弹簧轴线的视图上，螺旋弹簧各圈的轮廓应画成直线。螺旋弹簧均可画成右旋，但左旋弹簧无论画成左旋或右旋，一定要注明“左”字。有效圈数在四圈以上的螺旋弹簧，可以只画出两端一、二圈（支承圈除外），中间部分可以省略不画，用通过簧丝剖面中心的两条细点画线表示，如图 7-37 所示。

在装配图中，除弹簧挡住的结构一般不画，可见部分画到弹簧丝剖面的中心线为止。对于簧丝直径等于或小于 2mm 的螺旋弹簧，簧丝剖面可用涂黑表示，也可按示意图形式绘制，如图 7-38 所示。

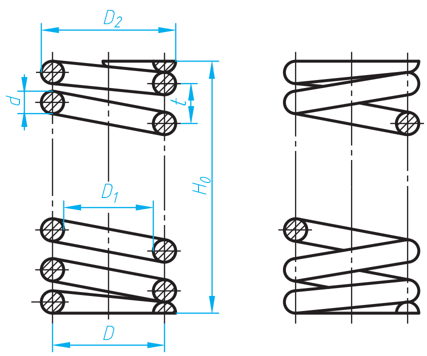


图 7-37　圆柱螺旋压缩弹簧画法

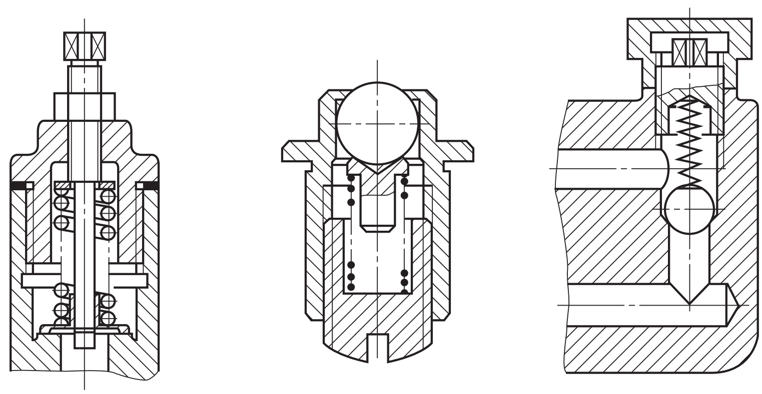


图 7-38　弹簧在装配图中的画法

7.5.4　圆柱螺旋压缩弹簧的画图步骤

绘制圆柱螺旋压缩弹簧时，要已知弹簧的自由高度 H_0、簧丝直径 d、弹簧外径 D_2 和有效圈数 n（或总圈数 n_1）。再根据公式计算出节距，作图步骤如图 7-39 所示。

1）画弹簧轴线，根据弹簧中径 D 和自由高度 H_0，画出矩形 $ABCD$。

2）画支承圈，在长方形的两端，按簧丝直径 d 在 AB 边画两整圆，CD 边画两半圆，与它相切再画两整圆。

3）画有效圈，在 CD 边按节距 t 画出有效圈簧丝的圆，再去取 0.5t，作轴线的垂线，确定了 AB 边簧丝中心，画圆，再取 t 画出有效圈簧丝的圆。

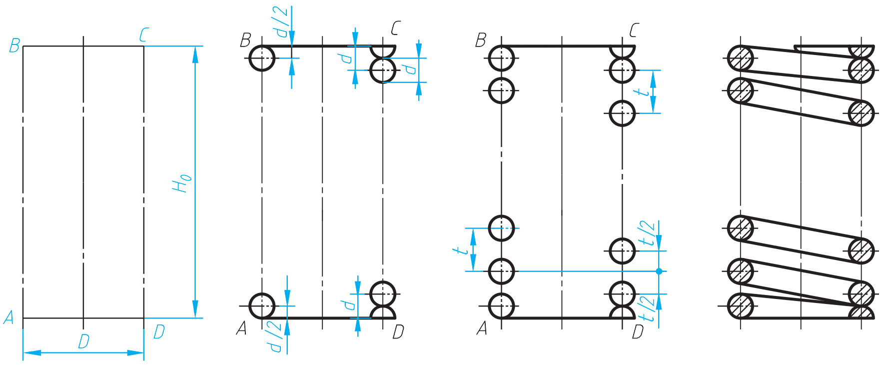


图 7-39　圆柱螺旋压缩弹簧的画图步骤

4）按螺旋线的方向作相应圆的公切线，在圆内画剖面线，即成剖视图。也可画成视图。

图 7-40 所示为一张圆柱螺旋压缩弹簧工作图，图中应注明相应的参数和机械性能曲线。当弹簧只给定刚度要求时，可不画机械性能曲线，而在技术要求中说明刚度的要求。

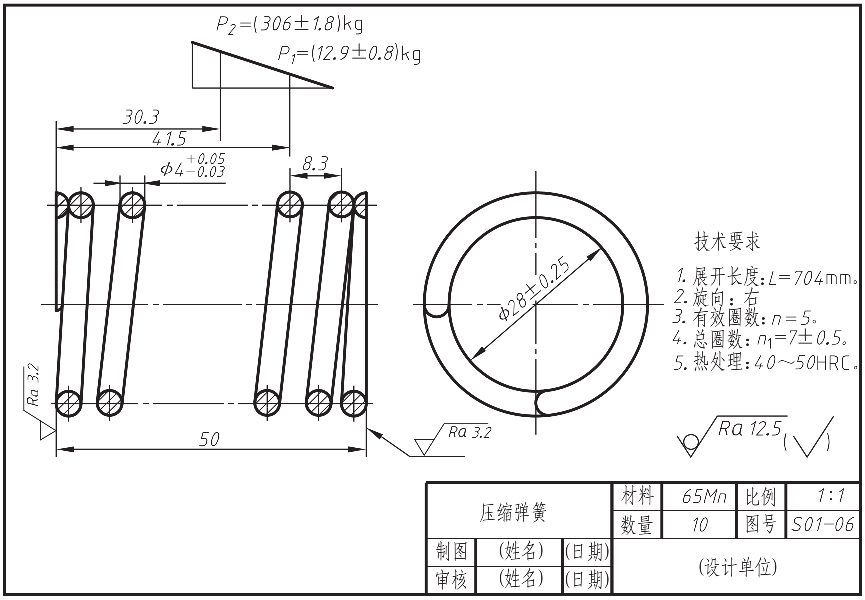


图 7-40　圆柱螺旋压缩弹簧工作图

第8章

零　件　图

8.1　概述

任何一台机器、仪器和仪表，都是由若干个零件按一定的装配关系组装起来的，如图8-1所示的齿轮泵是机床润滑系统的供油泵，它是由14个不同零件装配而成的。为了保证零件的质量，生产中必须依靠技术图样来进行加工和检验，这种表达零件的图样称为零件工作图，简称零件图。它是设计部门提交给生产部门的重要技术文件。

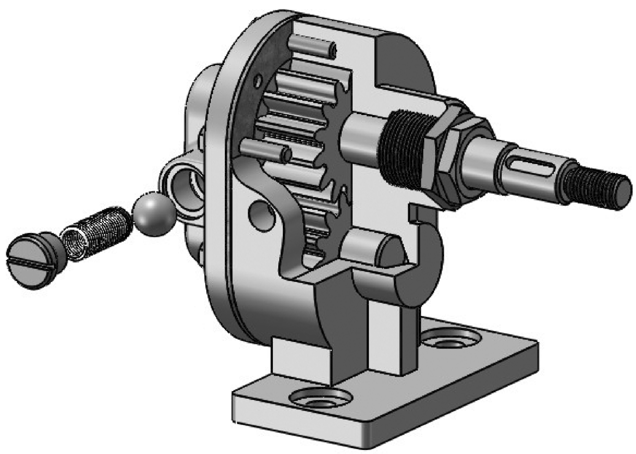


图8-1　齿轮泵

如图8-2所示的齿轮轴是图8-1齿轮泵中的一个零件。一张完整的零件图应包括以下内容：

（1）一组表达零件结构形状的图形　利用视图、剖视图、断面图以及其他规定画法和简化画法，正确、完整、清晰地表达零件的各部分形状和结构。

（2）确定零件大小的尺寸　正确、完整、清晰、合理地标注出用于零件制作、检验时的全部尺寸。

（3）技术要求　表明在加工制造、检验、装配、调整零件过程中，应该达到的一些技术要求，如公差、表面粗糙度、材料的处理等。

（4）标题栏　标题栏用来填写零件的名称、材料、数量、绘图比例、图样代号以及设

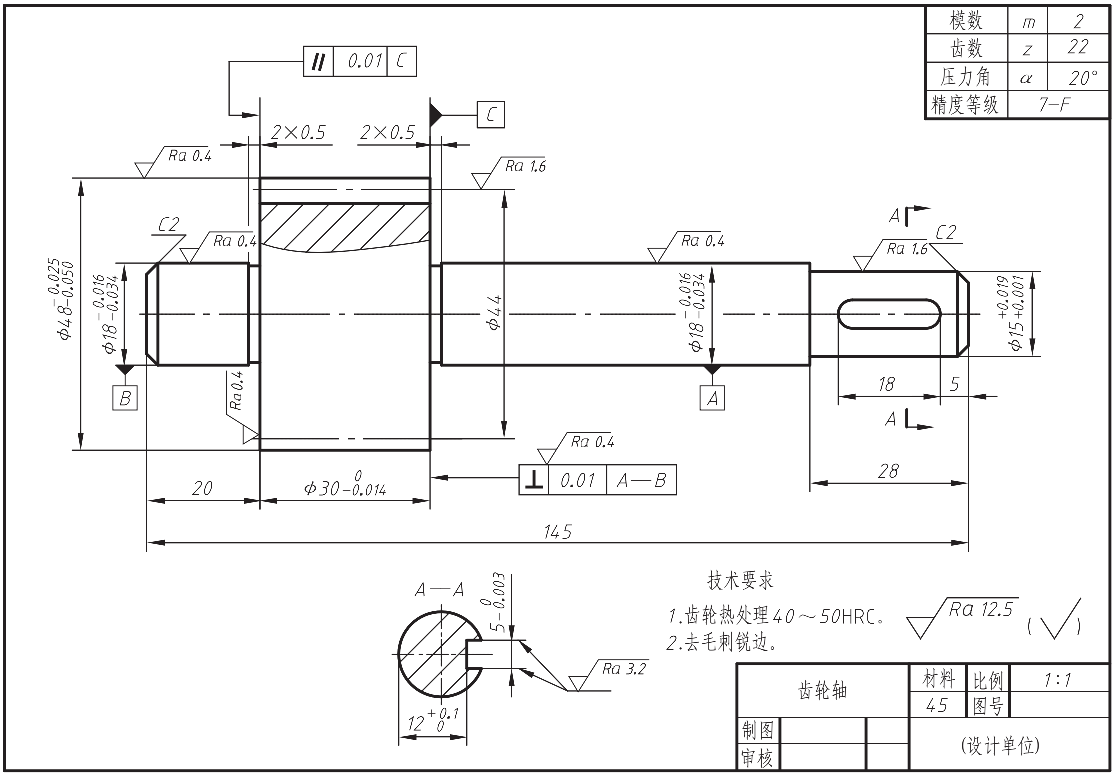


图 8-2　齿轮轴零件图

计、绘图等人员的签字等。

8.2　零件的表达方法

零件图应能正确、完整、清晰地表达出零件的结构形状，同时还应便于读图且作图简便。要达到这些要求，关键在于分析零件的结构特点，恰当地选用视图、剖视图、断面图及其他表达方法。

8.2.1　主视图的选择

零件的主视图是各视图中最主要的视图，它的选择原则是：

1. 反映形体特征

把最能显示零件的形状特征及反映零件上各形体相互位置关系的方向作为主视图的投射方向，使人看了主视图就能了解零件的大致形状。

2. 零件的加工位置

加工位置即为零件在加工过程中，特别是在机械加工时的装夹位置。若使主视图的摆放位置与零件的主要加工位置相一致，则有利于看图，减少发生差错的机会。如图 8-2 所示齿轮轴零件图中的主视图，就是按照这个原则选择的。对于轴、套类零件，主要是在车床上车削或在磨床上磨削，工件的装夹位置大都是轴线为水平，所以此类零件均以加工位置来画主

视图，即将轴线画成水平。

3. 零件的工作位置

零件在机器或部件中都有一定的工作位置，对于形状较复杂、需经多道工序加工的零件，在选择主视图时，应尽量与零件的工作位置一致，这样画出的主视图有利于读图和装配。如图 8-3 所示的吊钩就应竖放。

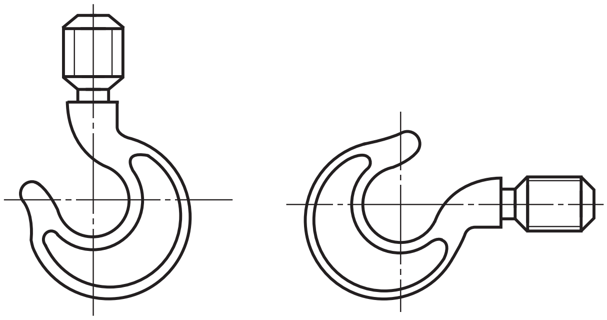


图 8-3　吊钩主视图的选择

8.2.2　其他视图的选择

主视图选定之后，对其他视图的选择应考虑以下几点：

1. 要有足够的视图

应能充分表达零件的各部分形状和结构，但又不要重复。在表达清楚的前提下，视图的数量应尽可能少。

2. 照顾到零件内部和外部形状的完整

在一般情况下尽量取基本视图和在基本视图上取剖视，只是对那些在基本视图上仍表示不清楚的个别部分，才选用辅助视图或局部剖视图。

3. 合理地布置所选用的各视图

既要充分利用图纸幅面，又要按照投影关系使有关视图尽量靠近。

8.2.3　典型零件的视图选择

1. 轴、套类零件

轴、套类零件是机器中最常见的一类零件，轴一般用来安装齿轮、带轮等传动件，以实现回转运动和传递动力。套类零件一般在轴上或箱体上，起轴向定位、支承和保护等作用。

轴、套类零件一般在车床或磨床上加工，为方便看图，应按加工位置和形状特征原则确定主视图，即轴线水平放置。对于其他局部结构可以用断面图或局部放大图等方法表示，如图 8-2 和图 8-4 所示。

2. 轮、盘类零件

此类零件包括手轮、法兰盘和端盖等，轮类零件一般用来传递动力和转矩；盘盖类零件主要起支承、轴向定位及密封等作用。这类零件的主要结构特征是回转体，一般径向尺寸大于轴向尺寸。

轮盘类零件毛坯多为铸件，加工制造以车削为主，所以按加工位置原则选择主视图，即将其轴线水平放置并做适当剖视，再选一个左视图，细小部分可以用局部剖视图或断面图表示，如图 8-5 所示。

3. 叉、架类零件

叉、架类零件包括各种用途的拨叉和支架，这类零件一般是铸件，毛坯形状复杂，需要经过多种机械加工，且加工位置难以分清主次。所以在选择主视图时，主要按形状特征确定，一般需要两个以上的基本视图。此外还常采用局部视图、斜视图、局部剖视图以及断面图等，如图 8-6 所示。

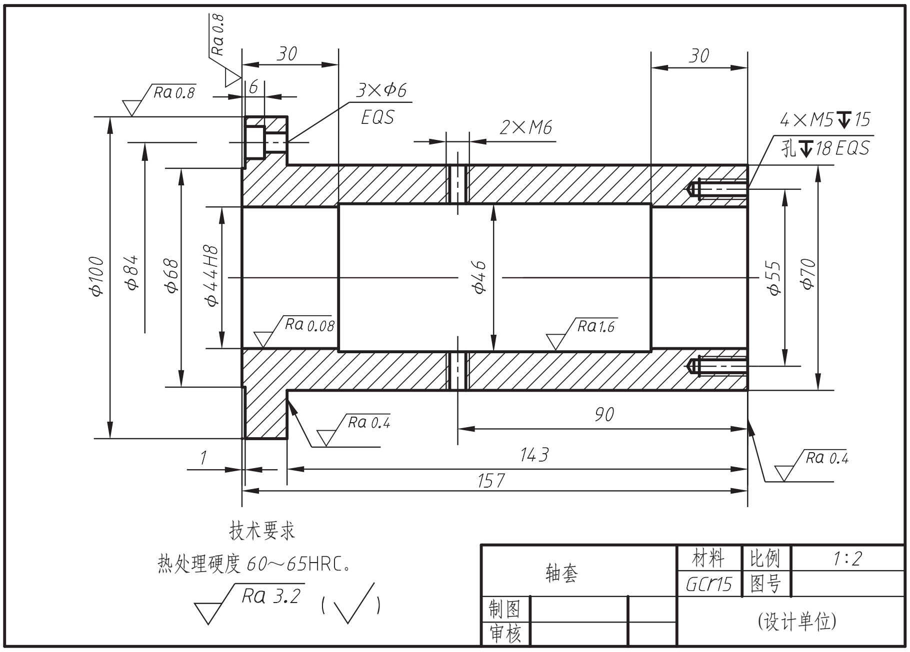


图 8-4　轴套零件图

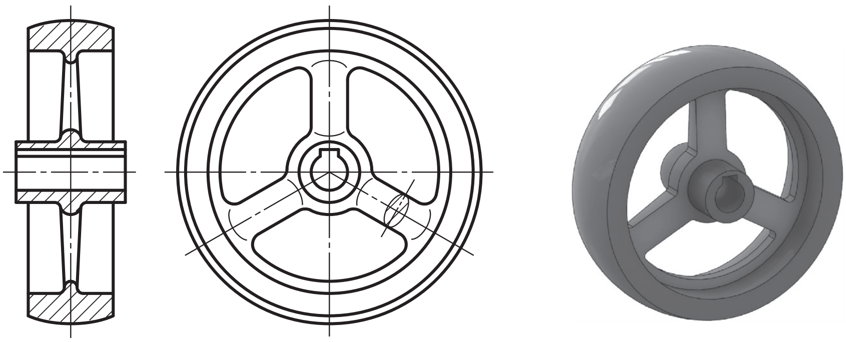


图 8-5　手轮表达方案

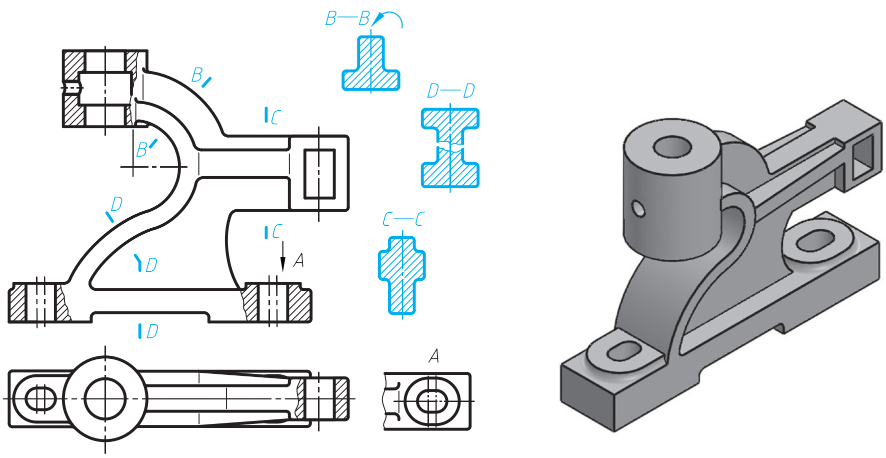


图 8-6　支架表达方案

4. 箱体类零件

箱体类零件包括箱体、泵体、阀体等，多为铸件，也有采用焊接而成的。这类零件一般起支承、容纳等作用。箱体类零件的结构比较复杂，加工工序较多。表达这类零件时，主视图根据工作位置和形状特征来确定；又因内部多为空腔，所以常采用三个以上的视图并采用适当的剖视来表达，如图 8-7 所示。

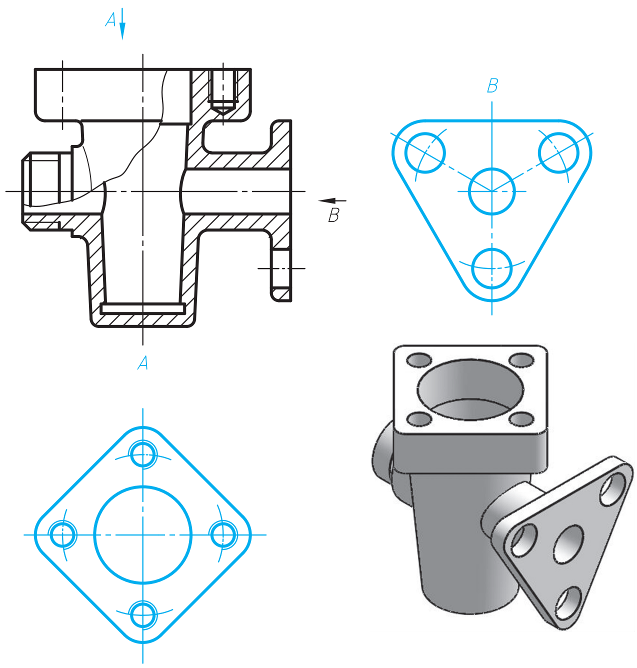


图 8-7　阀体表达方案

8.3　零件图上的尺寸标注

零件图上的尺寸，除了要符合前面几章已讲过的正确、完整、清晰的要求外，还要标注合理。所谓合理，即标注的尺寸能满足设计和加工工艺的要求，也就是使零件既能在部件（或机器）中很好地工作，又能使零件便于制造、测量和检验。要达到上述要求，最重要的问题是正确地选择尺寸基准。

8.3.1　选择尺寸基准

对零件来讲，尺寸基准是指用来确定它在部件（或机器）中或在加工及测量时的位置的一些线和面。零件上的底面、对称面、端面、主要的轴线、球心等都可以作为尺寸基准。根据基准的作用不同，一般将其分为主要基准和辅助基准。根据设计和工作时对尺寸的要求确定的基准称为主要基准，为了便于加工或测量而增加的基准称为辅助基准。主要基准和辅助基准之间应直接标注尺寸，使其联系起来。

根据基准在生产过程中的作用不同，一般将基准分为设计基准和工艺基准。

设计基准是标注零件定位尺寸的主要基准，是根据零件的结构和设计要求而选定的基准，如轴、盘类零件的轴线。工艺基准是根据零件的加工要求和测量要求而选定的基准。在

标注尺寸时，设计基准和工艺基准应尽量统一，以减少加工误差，提高加工质量。

零件在长、宽、高三个方向上应当各有一个主要基准，而且只能有一个主要基准，根据需要，还要选一个或几个基准为辅助基准，在基准之间一定要有尺寸联系。如图 8-8 所示，零件长度方向基准Ⅰ、宽度方向基准Ⅱ、高度方向基准Ⅲ为主要基准。此外，考虑到结构上对两沉孔中心距的要求，在长度方向增加了辅助基准Ⅳ，由尺寸 12 确定辅助基准Ⅳ的位置。由此可见，辅助基准是根据具体情况选定的，并由主要基准确定其位置。

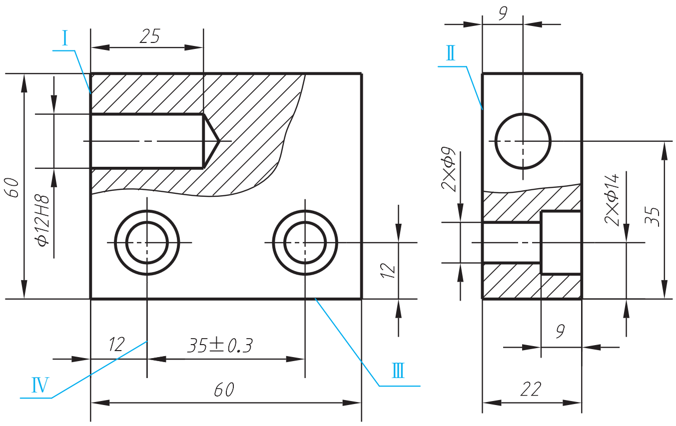


图 8-8　主要基准和辅助基准

8.3.2　尺寸标注方法

1. 重要尺寸直接注出

重要尺寸是确定零件在机器中的位置及装配精度的尺寸。加工好的零件尺寸存在偏差，为使零件的重要尺寸不受其他尺寸的影响，在零件图中应把重要尺寸从基准直接注出，并应注出极限偏差，以保证机器的使用性能，如图 8-8 中 12、35±0. 3 等。

2. 按加工顺序标注尺寸

如图 8-9 所示的轴，加工顺序和标注尺寸的关系如图 8-10 所示。

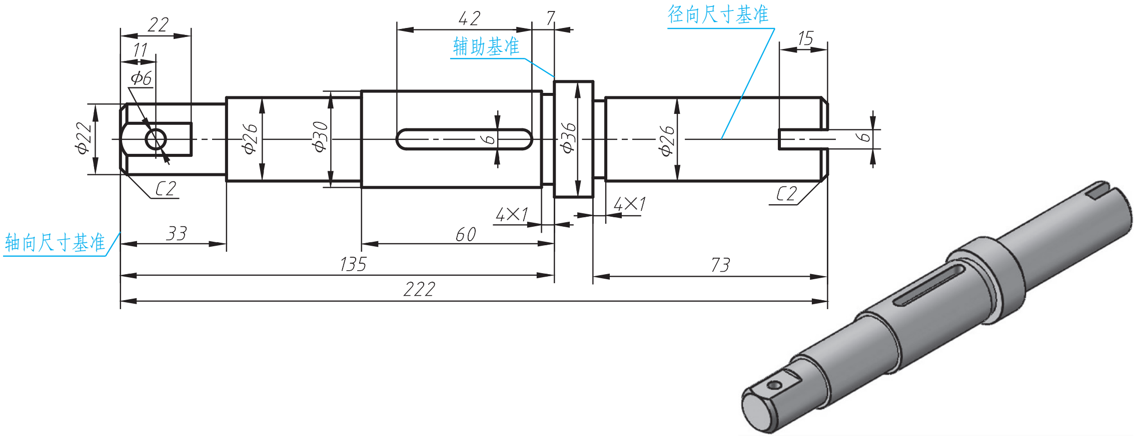


图 8-9　轴的尺寸基准

加工顺序为：①下料，车 $\phi36$，如图 8-10a 所示；②车 $\phi26$、73，切越程槽 4×1，如图 8-10b 所示；③调头车 $\phi30$、135，切越程槽 4×1 如图 8-10c 所示；④留出 60 车 $\phi26$，如图 8-10d 所示；⑤车 $\phi22$、33，如图 8-10e 所示；⑥在铣床上铣键槽 6、42，如图 8-10f 所示。

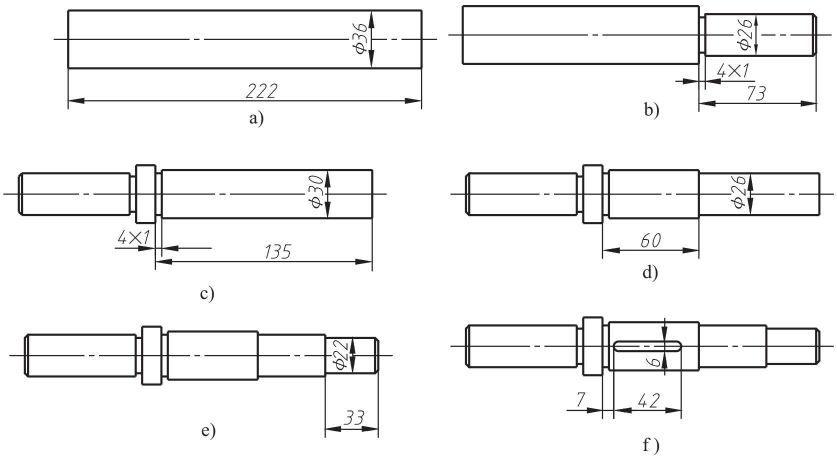


图 8-10　轴的加工顺序与标注尺寸的关系

3. 避免注成封闭尺寸链

零件图中，零件同一方向的各尺寸，按一定顺序依次连接起来排成的尺寸标注形式称为尺寸链，组成尺寸链的各个尺寸称为尺寸链的环。按加工顺序来说，总有一个尺寸是在加工最后自然得到的，这个尺寸称为封闭环，尺寸链中其他尺寸称为组成环，所有环都注上尺寸称为封闭尺寸链。

由于在加工过程中，每段尺寸都会产生误差，结果形成积累误差，影响零件的精度，所以标注尺寸时应该将尺寸链中最不重要的尺寸作为封闭环，不注尺寸，形成开口环，如图 8-11 所示。

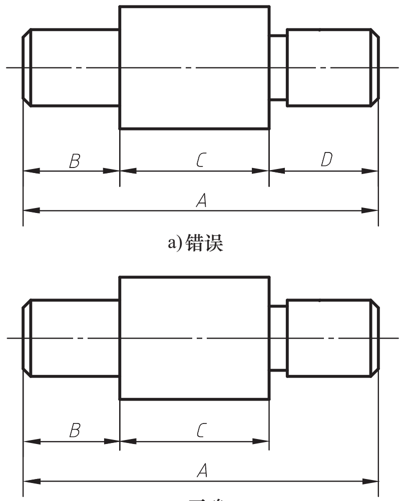
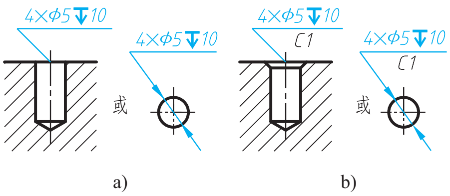


图 8-11　尺寸链不应封闭

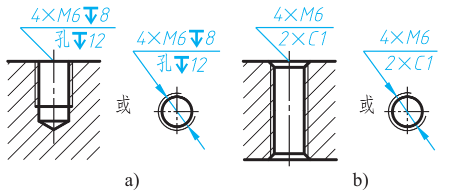
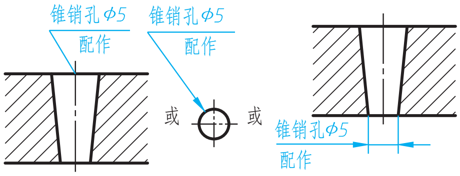
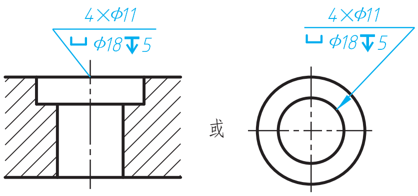
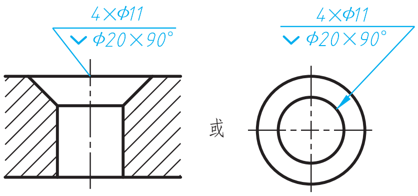
4. 常见的螺纹孔、销孔、沉孔的尺寸注法

在零件图上经常有螺纹孔、销孔、沉孔等结构，其尺寸标注方法见表 8-1。

表 8-1　零件图上常见的螺纹孔、销孔、沉孔等尺寸注法

零件结构	标注方法	说明
光孔		图 a 中 4×$\phi5$ 表示有四个同样的孔，符号“↧”表示“深度”，↧10 表示孔深度为 10mm 图 b 中的 $C1$ 表示孔口有 1×45°的倒角

（续）

零件结构	标注方法	说明
螺纹孔		图 a 中 4×M6 表示有四个同样的螺纹孔，螺纹孔深度为 8mm。钻孔深为 12mm 图 b 表示螺纹孔为通孔，两端口有 1×45°的倒角
锥销孔		ϕ5 为与锥销孔相配的圆锥销的小头直径。锥销孔一般在装配时与相配零件一起加工
沉孔		符号"⌴"表示"沉孔"（更大一些的圆柱孔）或锪平（孔端刮出一圆平面），此处表示沉孔直径为 18mm，沉孔深为 5mm，标注时若无深度要求，则表示刮出一指定直径的圆平面即可
埋头孔		符号"⌵"表示"埋头孔"（孔口做出倒圆锥台坡的孔），此处，锥台大头直径为 20mm，锥台面顶角为 90°

注：指引线应从装配时的装入端或孔的圆形视图的中心引出；指引线所连的水平线（基准线）上方注写主孔尺寸，下方注写辅助孔尺寸等内容。

8.4　零件图中的技术要求

为了保证零件的质量及工作性能，零件图中还必须标注制造零件时应达到的技术要求。通常以符号、代号、标记及文字说明注写在零件图上。其主要内容包括：表面结构、极限与配合、几何公差、材料及热处理和表面处理等。本书只简单介绍表面结构、尺寸公差、极限与配合、材料及热处理等基本概念和在图上的标注方法。

8.4.1　零件的表面结构

1. 表面结构的基本概念

零件的表面看起来很光滑，但借助放大装置便会看到一些凸凹不平的微小峰谷，图 8-12 所示为零件表面放大的景象。零件的实际表面的轮廓是由粗糙度轮廓（*R* 轮廓）、波纹度轮廓（*W* 轮廓）和原始轮廓（*P* 轮廓）构成的，各种轮廓所具有的特性与零件的表面功能密切相关。

（1）粗糙度轮廓　粗糙度轮廓是指实际表面轮廓中具有较小的间距和峰谷的那部分，

它所具有的微观几何特性称为表面粗糙度。通常波距<1mm，属于粗糙度轮廓，反映零件表面的微观形状误差。

（2）波纹度轮廓　波纹度轮廓是指实际表面轮廓不平度间距比粗糙度大得多的那部分轮廓，这种间距较大、随机或接近周期形式的成分构成的表面不平度称为表面波纹度。波距通常在 1 ~ 10mm 为波纹度轮廓。

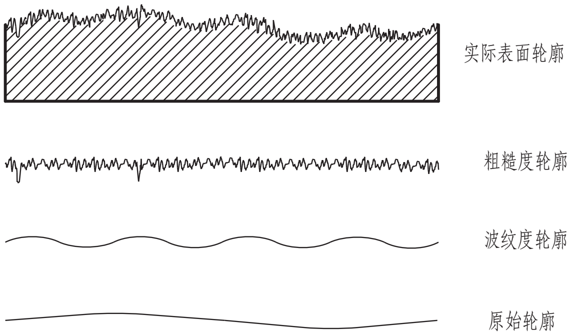


图 8-12　零件表面轮廓

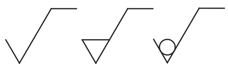
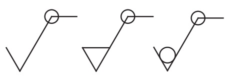
（3）原始轮廓　原始轮廓是指忽略了粗糙度轮廓和波纹度轮廓之后的总的轮廓。通常波距>10mm 为原始轮廓，反映零件表面宏观形状误差。

零件的表面结构特性是指粗糙度轮廓、波纹度轮廓、原始轮廓特性的统称。它是通过用不同测量和计算方法得出的一系列参数进行表征的，是评定零件表面质量和保证其表面功能的重要技术指标。

2. *表面结构符号的含义及画法*

国家标准 GB/T 131—2006《产品几何技术规范（GPS）技术产品文件中表面结构的表示法》规定了表面结构符号的含义和画法，表面结构的符号及意义见表 8-2，符号的画法如图 8-13 所示。

表 8-2　表面结构的符号及意义

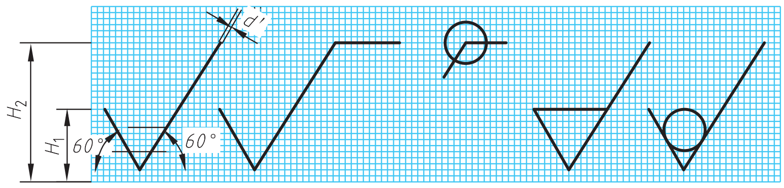
符号	意义及说明
	基本图形符号，表示未指定工艺方法的表面，没有补充说明时不能单独使用，仅适用于简化代号标注
	扩展图形符号，用去除材料的方法获得的表面。例如：通过车、铣、抛光、腐蚀、电火花加工、气割等机械加工获得的表面；仅当其含义是“被加工表面”时可单独使用
	扩展图形符号，不去除材料的方法获得的表面，如铸、锻、冲压变形、热轧、粉末冶金等；也可用于保持上道工序形成的表面，不管这种状况是通过去除材料或不去除材料形成的
	完整图形符号，在上述三个符号的长边上均可加一横线，用于标注有关参数和说明
	工件轮廓各表面的图形符号，在上述三个符号上均可加一小圈，表示某个视图上构成封闭轮廓的各表面有相同的表面粗糙度要求

8.4.2　表面粗糙度的常用评定参数、代号及标注方法

零件的实际表面轮廓由粗糙度轮廓（*R* 轮廓）、波纹度轮廓（*W* 轮廓）和原始轮廓（*P* 轮廓）组成，此处只介绍评定粗糙度轮廓（*R* 轮廓）的参数、代号及标注方法。

1. *表面粗糙度常用的参数*

表面粗糙度（*R* 轮廓）的评定参数常用的有：轮廓算术平均偏差（*Ra*）、轮廓最大高度（*Rz*）。其中 *Ra* 为优先选用的评定参数。



（单位：mm）

数字和字母高度h	2.5	3.5	5	7	10	14	20
符号线宽d' 字母线宽d'	0.25	0.35	0.5	0.7	1	1.4	2
高度H_1	3.5	5	7	10	14	20	28
高度H_2(最小值)	7.5	10.5	15	21	30	42	60
符号的水平线的长度及高度H_2取决于所标注的内容的长度与高度							

图 8-13　表面结构符号的画法

（1）轮廓算术平均偏差（Ra）　如图 8-14 所示，OX 为被测表面轮廓中线，它是用以评定表面粗糙度参数的基准线。轮廓算术平均偏差 Ra 是指在取样长度内，被测轮廓偏距绝对值的算术平均值，用数学公式可表示为

$$Ra = \frac{1}{lr}\int_0^{lr} \left| Z(x) \right| \mathrm{d}x$$

或近似表示为

$$Ra = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \left| Z_i \right|$$

式中　$Z(x)$——轮廓偏距值；

lr——取样长度；

n——取样数；

Z_i——第 i 点的轮廓偏距值。

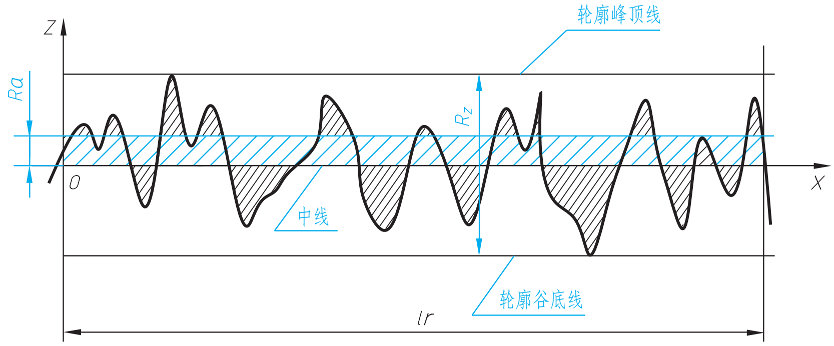


图 8-14　轮廓算术平均偏差 Ra 和轮廓最大高度 Rz

（2）轮廓最大高度（Rz）　轮廓最大高度是指在一个取样长度内，最大轮廓峰高和最大轮廓谷深之和。

在实际生产中，轮廓算术平均偏差 Ra 用得最多。其数值规定见表 8-3，其中第一系列为优先选用值。

表 8-3　轮廓算术平均偏差 *Ra* 数值表（GB/T 1031—2009）　　（单位：μm）

第一系列	第二系列	第一系列	第二系列	第一系列	第二系列	第一系列	第二系列
	0.008						
	0.010						
0.012			0.125		1.25	12.5	
	0.016		0.160	1.60			16
	0.020	0.20			2.0		20
0.025			0.25		2.5	25	
	0.032		0.32	3.2			32
	0.040	0.40			4.0		40
0.050			0.50		5.0	50	
	0.063		0.63	6.3			63
	0.080	0.80			8.0		80
0.100			1.00		10.0	100	

2. 表面粗糙度的代号及含义

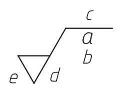
表面粗糙度代号由完整的表面结构符号、参数代号（如 *Ra*，*Rz*）和参数值（极限值）组成，必要时应标注补充要求，其内容及注写位置见表 8-4。符号中的 *b*、*c*、*d*、*e* 各项无特殊要求时不标注。在 a 位置注写的内容及格式：

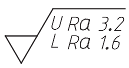
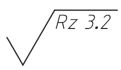
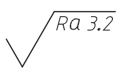
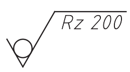
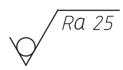
传输带或取样长度 / 参数代号　参数极限值（单位：μm）

若采用默认传输带时，则 传输带或取样长度 一项不标注，如 *Ra* 3.2。

说明：传输带是评定表面粗糙度时两个定义的滤波器之间的波长范围。

表 8-4　表面粗糙度代号的含义及各项规定在符号中的注写位置

<table>
<tr><th colspan="2">表面粗糙度各项规定在符号中的注写位置</th><th>粗糙度代号</th><th>含义及说明</th></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">

a 位置—注写表面结构的单一要求，如 Ra 或 Rz 的允许值，单位为 μm
a、b 位置—注写两个或多个表面结构要求
c 位置—注写加工方法
d 位置—注写表面纹理和方向
e 位置—注写加工余量，单位为 mm</td><td>
</td><td>表示去除材料，双向极限值，R 轮廓，上极限：算术平均偏差 3.2μm；下极限：算术平均偏差 1.6μm</td></tr>
<tr><td rowspan="2">
</td><td rowspan="2">表示任意加工方法，单向上极限，R 轮廓，粗糙度最大高度 3.2μm</td></tr>
<tr><td>粗糙度代号</td><td>含义及说明</td></tr>
<tr><td>
</td><td>表示任意加工方法，单向上极限，R 轮廓，算术平均偏差 3.2μm</td><td>
</td><td>表示不允许去除材料，单向上极限，R 轮廓，粗糙度的最大高度 200μm</td></tr>
<tr><td>
</td><td>表示去除材料，单向上极限，R 轮廓，算术平均偏差 3.2μm</td><td>
</td><td>表示不允许去除材料，单向上极限，R 轮廓，算术平均偏差 25μm</td></tr>
</table>

3. 表面粗糙度代号在图样上的标注

国家标准（GB/T 131—2006）规定了表面粗糙度在图样中的注法，其总的原则是：

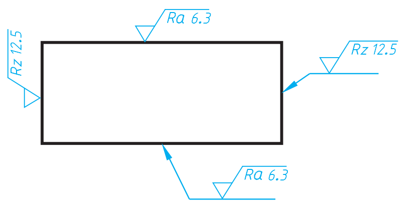
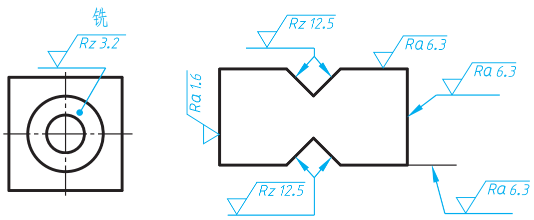
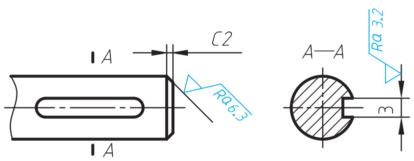
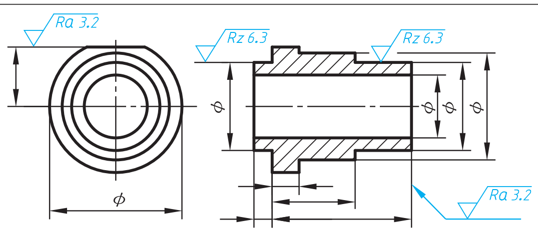
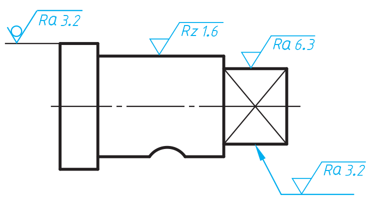
1）表面粗糙度对每一表面一般只标注一次，并尽可能在相应的尺寸及其公差的同一视图上。除非另有说明，所标注的表面粗糙度是对完工零件表面的要求。

2）表面粗糙度的注写和读取方向与尺寸的注写和读取的方向一致。

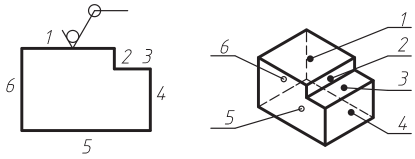
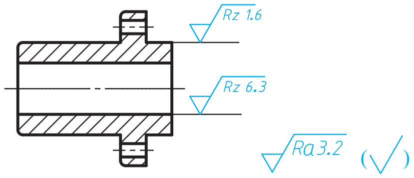
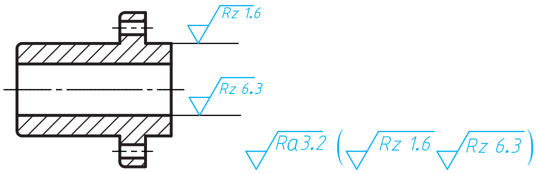
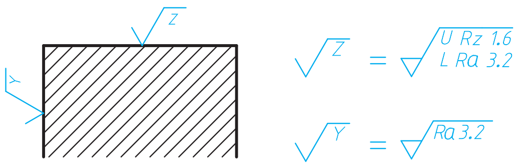
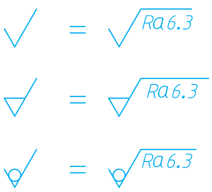
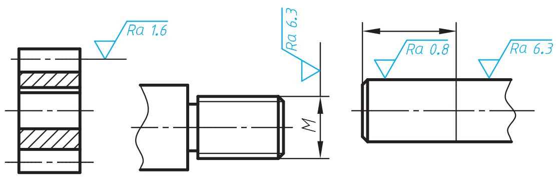
3）表面粗糙度可标注在轮廓线及其延长线上，其符号应从材料外指向并接触表面。必要时，表面粗糙度也可注在尺寸线及其延长线上、指引线和几何公差的框格上。

具体的标注示例见表 8-5。

表 8-5　表面粗糙度在图样中的标注示例

标注方法	说明
	参数代号为大小写斜体 表面粗糙度要求的注写和读取方向与尺寸的注写和读取方向一致
	表面粗糙度可标注在轮廓线及其延长线上，其符号应从材料外指向并接触表面 必要时，表面粗糙度也用带箭头或黑点的指引线引出标注
	表面粗糙度可以标注在尺寸线上（*A*—*A* 剖视图） 倒角的表面粗糙度要求注法见主视图
	表面粗糙度要求每一表面一般只注一次，并尽量注在与相应的尺寸及公差的同一视图上 如果各表面有不同的表面粗糙度要求，则应分别单独标注
	棱柱表面粗糙度要求只注一次，如果每个棱柱有不同的表面粗糙度要求，则应分别单独标注，如 *Ra* 6.3，*Ra* 3.2

（续）

标注方法	说明
	当在图样某个视图上构成封闭轮廓的各表面具有相同的表面粗糙度要求时，应在完整图形符号上加一圆圈，标注在图样的封闭轮廓线上。如果标注会引起歧义时，各表面应分别标注 如图中 1，2，3，4，5，6 构成封闭的轮廓，不包括前后面
 a)  b)	如果工件的多数表面（包括全部）具有相同的表面粗糙度要求，则其要求可统一标注在图样的标题栏附近。此时（除全部表面有相同要求的情况外），表面粗糙度符号后面应有： 1）在圆括号内给出无任何其他标注的基本符号（图 a） 2）在圆括号内给出不同的表面粗糙度要求（图 b） 不同的表面粗糙度要求应直接标注在图形中（图 a、图 b）
 a）用带字母的完整符号的简化注法 b）未指定工艺方法的简化注法 c）要求去除材料的简化注法 d）不允许去除材料的简化注法 	多个表面具有相同的表面粗糙度要求或图样空间有限时，可采用简化注法： 1）用带字母的完整符号，以等式的形式在图形或标题栏附近对有相同的表面粗糙度要求的表面进行简化注（图 a） 2）可用表面粗糙度符号，以等式的形式给出对多个表面共同的表面粗糙度要求（图 b、图 c、图 d）
 a) b) c)	1）齿轮齿廓表面粗糙度注法如图 a 所示 2）螺纹表面粗糙度注法如图 b 所示 3）同一表面不同粗糙度要求注法如图 c 所示

4. 表面粗糙度 *Ra* 的选用

选用表面粗糙度时，一般根据零件表面的接触状态、相对滑动速度、配合及表面装饰等要求，同时还应考虑加工的经济性。常用的表面粗糙度 *Ra* 值的加工方法和应用见表 8-6。

表 8-6　表面粗糙度 *Ra* 值的表面特征和应用举例

表面粗糙度 *Ra*/μm	表面特征	主要加工方法	应用举例
50	明显可见刀痕	粗车、粗铣、粗刨、钻、粗纹锉刀和粗砂轮加工	为表面最粗的加工面，一般很少应用
25	可见刀痕		
12.5	微见刀痕	粗车、刨、立铣、平铣、钻	不接触表面，不重要的接触面，如螺纹孔、倒角、机座底面等
6.3	可见加工痕迹	精车、精铣、精刨、铰、镗、粗磨等	没有相对运动的零件接触面，如箱体、盖、套筒等要求紧贴的表面；键和键槽的工作表面；相对运动速度不高的接触面，如支架孔、衬套、带轮轴孔的工作表面等
3.2	微见加工痕迹		
1.6	看不见加工痕迹		
0.80	可辨加工痕迹方向	精车、精铰、精拉、精镗、精磨等	要求很好配合的表面，如与滚动轴承配合的表面、锥销孔等；相对运动速度较高的接触面，如滑动轴承的工作表面、齿轮轮齿的工作表面等
0.40	微辨加工痕迹方向		
0.20	不可辨加工痕迹方向		
0.10	暗光泽面	研磨、抛光、超级精细研磨等	精密量具的表面、极重要零件的摩擦面，如气缸的内表面、精密机床主轴颈、坐标镗床的主轴颈等
0.05	亮光泽面		
0.025	镜状光泽面		
0.012	雾状光泽面		
0.006	镜面		

8.4.3　极限与配合

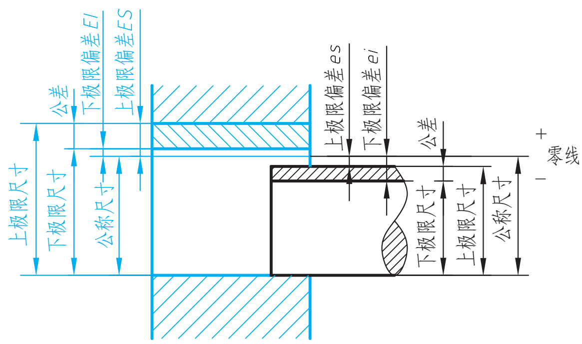
1. 互换性

从一批相同的零件中任取一件，不经修配就能立即装到机器或产品中去，并能保证使用要求，这种性质称为互换性。日常生活中具有互换性的零部件是很多的，如自行车零件、家用电器零件等。零件具有互换性，不仅给产品的装配、维修带来方便，更重要的是为产品的现代化大量生产提供了可能性。

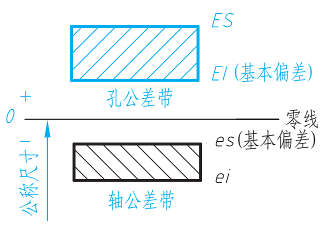
2. 极限

由于零件加工误差的存在，必须控制零件的尺寸精度，即控制零件的尺寸不超过设定的上极限值和下极限值。相配合的零件（如轴和孔）各自达到尺寸要求后，装配在一起就能满足所设计的松紧程度和工作精度要求，保证零件的功能与互换性。尺寸在上极限值和下极限值所设定的范围内变动，尺寸这个允许的变动量称为尺寸公差，简称公差。公差的有关术语和定义见表 8-7。

表 8-7　公差的有关术语及定义（GB/T 1800.1—2009）



（续）

名称	解释	计算示例及说明	
		孔 $\phi60^{0.030}_{0}$	轴 $\phi60^{-0.030}_{-0.049}$
公称尺寸 A	由图样规范确定的理想形状要素的尺寸	$A=60$mm 孔的尺寸	$A=60$mm 轴的尺寸
实际尺寸	通过测量所得到的尺寸		
极限尺寸	尺寸要素允许的尺寸的两个极端		
上极限尺寸 A_{max}	尺寸要素允许的最大尺寸	$A_{max}=60.030$mm	$A_{max}=59.970$mm
下极限尺寸 A_{min}	尺寸要素允许的最小尺寸	$A_{min}=60$mm	$A_{min}=59.951$mm
偏差	某一尺寸减其公称尺寸所得的代数差		
上极限偏差	上极限尺寸减其公称尺寸所得的代数差	$(60.030-60)$mm$=+0.030$mm	$(59.970-60)$mm$=-0.030$mm
下极限偏差	下极限尺寸减其公称尺寸所得的代数差	$(60-60)$mm$=0$mm	$(59.951-60)$mm$=-0.049$mm
尺寸公差 T（简称公差）	允许零件尺寸的变动量；公差也等于上极限尺寸减下极限尺寸之差，或上极限偏差减下极限偏差之差	$T=(60.030-60)$mm$=0.030$mm	$T=(59.970-59.951)$mm $=0.019$mm
尺寸公差带及公差带图	公差带是指由代表上极限偏差和下极限偏差或上极限尺寸和下极限尺寸的两条直线所限定的一个区域 公差带图是指将尺寸公差与公称尺寸间的关系按比例放大画成的简图。零线表示公称尺寸或零偏差的一条直线。通常，沿水平方向绘制，正偏差位于其上，负偏差位于其下		

3. 标准公差与基本偏差

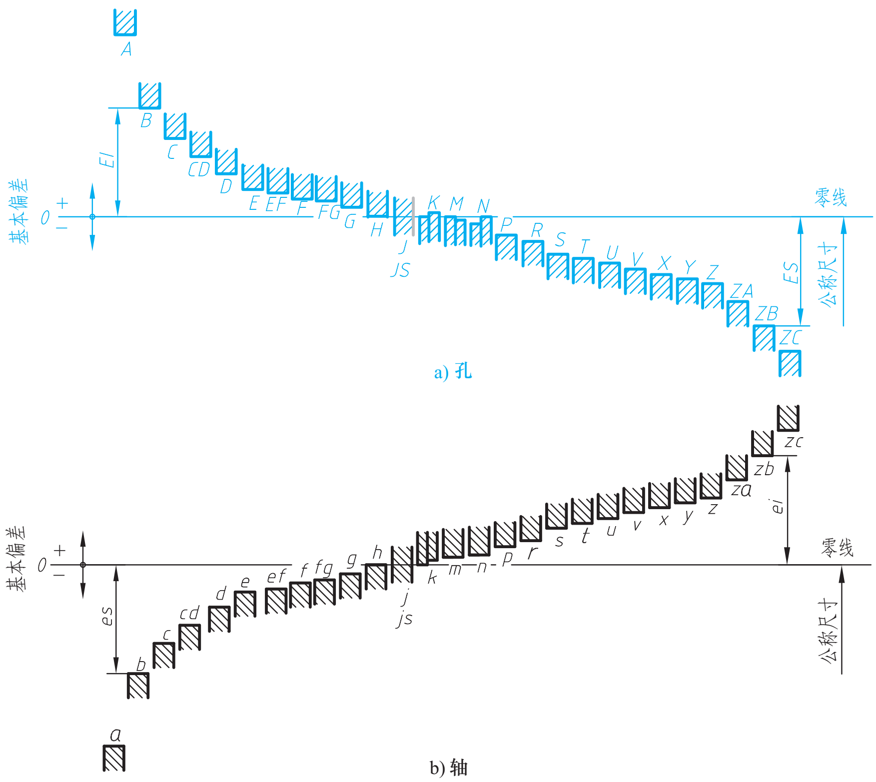
（1）标准公差　标准公差是国家标准中规定的用以确定公差带大小的任一公差，用符号“IT”表示。在 GB/T 1800.2—2009 中，规定公称尺寸至 3150mm 的标准公差等级分为 18 级，分别用 IT1～IT18 表示。阿拉伯数字表示公差等级，它是反映尺寸精确程度的等级。IT1 级公差值最小，精度最高；IT18 级公差值最大，精度最低。各级标准公差的数值见表 8-8。

（2）基本偏差　基本偏差是国标中规定的用以确定公差带相对零线位置的那个极限偏差，它一般是指靠近零线的那个极限偏差。当公差带在零线的上方时，基本偏差为下极限偏差，用 EI 或 ei 表示；反之则为上极限偏差，用 ES 或 es 表示，见表 8-7。基本偏差共有 28 个，它的代号用拉丁字母表示，大写的为孔，小写的为轴。基本偏差的系列如图 8-15 所示。

图中只表示公差带的各种位置，而不表示公差带的大小，因此公差带一端是开口的，封闭的一端即为基本偏差。轴与孔的基本偏差数值可查阅国标或有关手册。

表 8-8　公称尺寸小于 500mm 的标准公差（GB/T 1800. 2—2009 摘录）

公称尺寸/mm		标准公差等级									
		IT1	…	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	…
大于	至	μm								mm	
—	3	0. 8	…	6	10	14	25	40	60	0. 10	…
3	6	1	…	8	12	18	30	48	75	0. 12	…
6	10	1	…	9	15	22	36	58	90	0. 15	…
10	18	1. 2	…	11	18	27	43	70	110	0. 18	…
18	30	1. 5	…	13	21	33	52	84	130	0. 21	…
30	50	1. 5	…	16	25	39	62	100	160	0. 25	…
50	80	2	…	19	30	46	74	120	190	0. 30	…
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
400	500	8	…	40	63	97	155	250	400	0. 63	…



a) 孔

b) 轴

图 8-15　基本偏差系列示意图

（3）公差带代号　孔、轴公差带代号由基本偏差代号与公差等级代号组成，字高相同，如 H7、g6 等。注有公差的尺寸用公称尺寸和公差代号表示，其含义如图 8-16 所示。

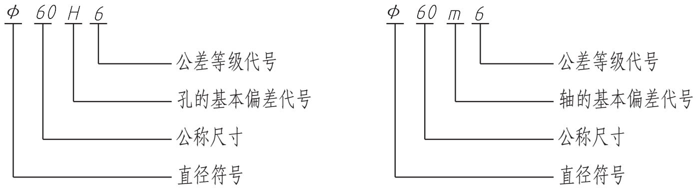


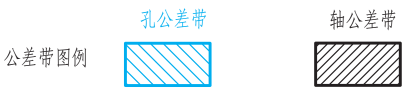
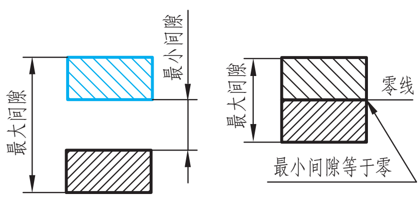
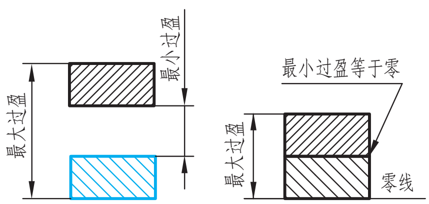
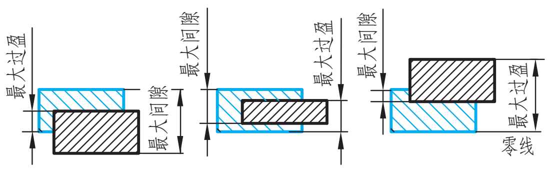
图 8-16　公差带代号的含义

4. 配合

在产品装配中，公称尺寸相同的并且相互结合的孔和轴公差带之间的关系，称为配合。

（1）配合的种类　根据使用要求的不同，孔和轴之间的配合分为三大类，即间隙配合、过渡配合和过盈配合。见表 8-9。

表 8-9　配合的种类

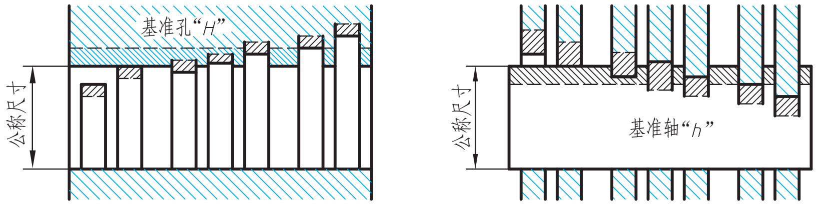
名称		说明
间隙配合		孔的公差带在轴的公差带之上，任取一对轴和孔相配，都有间隙，包括间隙为零的极限情况
过盈配合		孔的公差带在轴的公差带之下，任取一对轴和孔相配，都有过盈，包括过盈为零的极限情况
过渡配合		孔和轴的公差带相互交叠，任取一对轴和孔相配，可能具有过盈，也可能具有间隙配合

（2）配合制　同一极限制的孔和轴组成的一种配合制度，国标对配合规定了基孔制和基轴制两种基准制。

1）基孔制。基孔制是基本偏差为一定的孔的公差带，与不同基本偏差的轴的公差带形成各种配合的一种制度，如图 8-17a 所示。基孔制的孔称为基准孔，用“H”表示，基准孔

的下极限偏差为零。采用基孔制能减少刀具、量具规格数量，从而获得较好的经济效果。

2）基轴制。基轴制是基本偏差为一定的轴的公差带，与不同基本偏差的孔的公差带形成各种配合的一种制度，如图 8-17b 所示。基轴制的轴称为基准轴，用“h”表示。基准轴的上极限偏差为零。



a) 基孔制配合　　b) 基轴制配合

图 8-17　基孔制及基轴制

注：图中水平实线代表孔或轴的基本偏差；虚线代表另一极限偏差。

3）优先和常用配合。为了减少定值刀具、量具的规格数量，以获得最大的经济效益，不论基孔制还是基轴制，在间隙、过盈和过渡配合中，都规定有优先、常用配合。基孔制优先、常用配合见表 8-10；基轴制优先、常用配合见表 8-11。

表 8-10　基孔制优先、常用配合（摘自 GB/T 1801—2009）

基准孔	轴																			
	a	b	c	d	e	f	g	h	js	k	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z
	间隙配合								过渡配合			过盈配合									
H6						H6/f5	H6/g5	H6/h5	H6/js5	H6/k5	H6/m5	H6/n5	H6/p5	H6/r5	H6/s5	H6/t5					
H7						H7/f6	◤H7/g6	◤H7/h6	H7/js6	◤H7/k6	H7/m6	◤H7/n6	◤H7/p6	H7/r6	◤H7/s6	H7/t6	◤H7/u6	H7/v6	H7/x6	H7/y6	H7/z6
H8					H8/e7	◤H8/f7	H8/g7	◤H8/h7	H8/js7	H8/k7	H8/m7	H8/n7	H8/p7	H8/r7	H8/s7	H8/t7	H8/u7				
				H8/d8	H8/e8	H8/f8		H8/h8													
H9			H9/c9	◤H9/d9	H9/e9	H9/f9		◤H9/h9													
H10			H10/c10	H10/d10				H10/h10													
H11	H11/a11	H11/b11	◤H11/c11	H11/d11				◤H11/h11													
H12		H12/b12						H12/h12													

注：1. $\frac{H6}{n5}$、$\frac{H7}{p6}$在公称尺寸小于或等于 3mm 和$\frac{H8}{r7}$在小于或等于 100mm 时，为过渡配合。

2. 标注◤ 的配合为优先配合。

表 8-11　基轴制优先、常用配合（摘自 GB/T 1801—2009）

基准孔	孔																				
	A	B	C	D	E	F	G	H	JS	K	M	N	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z
	间隙配合								过渡配合			过盈配合									
h5						F6/h5	G6/h5	H6/h5	JS6/h5	K6/h5	M6/h5	N6/h5	P6/h5	R6/h5	S6/h5	T6/h5					
h6						F7/h6	◤G7/h6	◤H7/h6	JS7/h6	◤K7/h6	M7/h6	◤N7/h6	◤P7/h6	R7/h6	◤S7/h6	T7/h6	◤U7/h6				
h7					E8/h7	◤F8/h7		◤H8/h7	JS8/h7	K8/h7	M8/h7	N8/h7									
h8				D8/h8	E8/h8	F8/h8		H8/h8													
h9				◤D9/h9	E9/h9	F9/h9		◤H9/h9													
h10				D10/h10				H10/h10													
h11	A11/h11	B11/h11	◤C11/h11	D11/h11				◤H11/h11													
H12		B12/h12						H12/h12													

注：标注◤ 的配合为优先配合。

5. 极限与配合的标注及查表

（1）极限与配合在图样上的标注

1）在装配图上的标注。在装配图上进行配合标注，如图 8-18a 所示，在公称尺寸之后要标注配合代号。配合代号须用分数形式表示，分子为孔的公差带代号，分母为轴的公差带代号。公差带代号由基本偏差代号和公差等级数字组成，代号字体大小要与尺寸数字大小相同。

2）在零件图上的标注。在零件图上标注方法有三种形式：

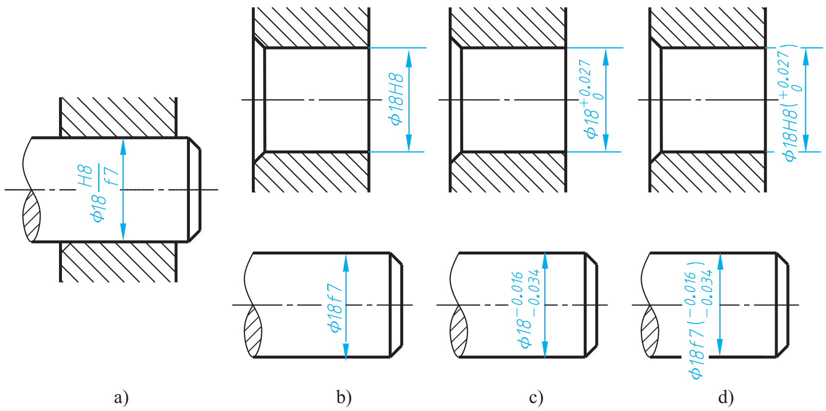


图 8-18　极限与配合的标注方法

① 只注公差带代号，如图 8-18b 所示；

② 只注写上、下极限偏差数值，如图 8-18c 所示；

③ 注出公差带代号及上、下极限偏差数值，如图 8-18d 所示。偏差数值字高应为尺寸数字高的 2/3。若上、下极限偏差数值相等时，字高应与尺寸数字等高，如 40±0.02。

（2）查表方法　公称尺寸、基本偏差和标准公差等级确定以后，偏差数值就可以从相应的表中查得。

例 8-1　说明 $\phi60\frac{H7}{n6}$的含义并查表写出其对应的极限偏差值。

解　由表 8-10 可知，$\phi60\frac{H7}{n6}$为基孔制优先过渡配合。$\phi60$ 为公称尺寸；H7 是孔的公差带代号；H 为基准孔的基本偏差代号；7 是孔的公差等级；n6 是轴的公差带代号；n 为轴的基本偏差代号；6 为轴的公差等级。

$\phi60$H7 基准孔的极限偏差可由附表 C-2 查得。在该表中由公称尺寸>50～65mm 的行和公差带代号 H7 的列相交处查得$^{+30}_{\ 0}$（μm）即$^{+0.030}_{\ 0}$（mm）。由此基准孔的上、下极限偏差 $\phi60$H7 可写成 $\phi60^{+0.030}_{\ 0}$。

$\phi60$n6 轴的极限偏差可由附表 C-1 查得。在表中由公称尺寸>50～65mm 的行和公差带代号 n6 的列相交处查得$^{+39}_{+20}$（μm）即$^{+0.039}_{+0.020}$（mm）。由此 $\phi60$n6 可写成 $\phi60^{+0.039}_{+0.020}$。

查表应注意的问题是：

1）处于尺寸段边界的尺寸应属于前一段，如公称尺寸为 30mm，应在>18～30mm 尺寸段，而不能查>30～40mm 尺寸段。

2）表中查出的公差或偏差值单位均为 μm，而图中标注的尺寸单位是 mm，因此应进行单位换算。

标注极限偏差时应注意的事项：

1）零偏差不得省略，正号不能省略，零偏差标注时应与另一偏差的个位数字对齐。

2）上极限偏差和下极限偏差小数点对齐，且小数点后的位数必须相同，位数不同时，位数少的用数字“0”补齐，下极限偏差与公称尺寸在同一底线上，如 $\phi40^{+0.034}_{+0.005}$。

8.4.4　材料及热处理

了解材料的性能，合理选用和正确地标注是所有工程技术人员不可缺少的知识。本节简单介绍一些常用的材料及热处理。

1. 金属材料

金属材料分为钢铁金属材料和非铁金属材料。

（1）钢铁金属材料

1）铸铁。铸铁是含碳量大于 2%的铁碳合金。常用的铸铁有灰铸铁（如 HT150），球墨铸铁（如 QT500-7）和可锻铸铁（如 KTZ550-04）。铸铁材料多用于床身、机架、阀体、泵体、底座、端盖等零件。

2）钢。钢材有碳素钢和合金钢。碳素钢又分为碳素结构钢（如 Q235A）和优质碳素钢（如 45）。合金钢有合金结构钢（如 35SiMn）和不锈钢（如 12Cr18Ni9）等。

（2）非铁金属材料

常用的非铁金属材料有普通黄铜、铸造铜合金和铸造铝合金。

2. 非金属材料

常用的非金属材料有橡胶、塑料、电木、石棉及有机玻璃等。

各种材料的牌号及其应用可参考《机械零件设计手册》或《金属材料手册》。

3. 金属材料热处理

对于不同的金属材料，为了达到一些特殊的要求，如增加强度、韧性，提高硬度和耐磨性等，可采用不同的热处理方法。常用的热处理方法有铸件的退火时效、钢件的淬火和调质等。具体的热处理方法可参阅金属学的有关资料。

8.5 零件常见工艺结构

8.5.1 铸造零件上常见的工艺结构

1. 起模斜度

在铸造零件毛坯时，为了起模方便，在模样沿起模方向的内、外壁上做成适当的斜度，称为起模斜度，如图 8-19a 所示，因此，在铸件上也有相应的起模斜度，如图 8-19b 所示。这种斜度在图中可不必标注，也可不画出，如图 8-19c 所示。必要时可以用文字在技术要求中说明。

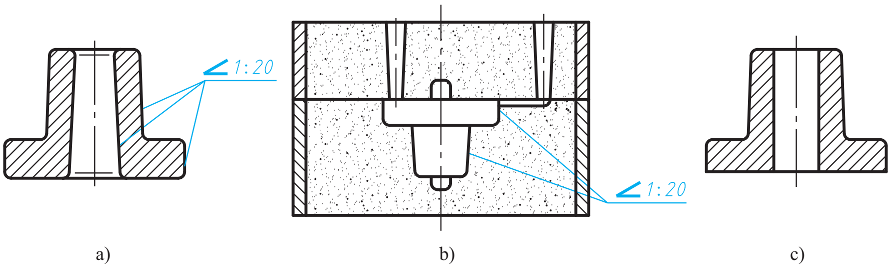


图 8-19 起模斜度

2. 铸造圆角

在铸造零件时，为了防止转角处的型砂脱落，以避免铸件在冷却收缩时产生缩孔或应力集中而开裂，故在铸件转角处设计成圆角，称为铸造圆角，如图 8-20所示。



图 8-20 铸造圆角

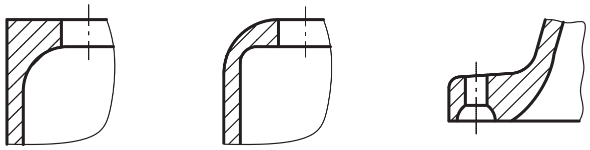
3. 铸件壁厚

在浇注零件时，为了避免各部分因冷却速度不同而产生缩孔或裂纹，铸件壁厚应均匀或逐渐变化，如图 8-21 所示。

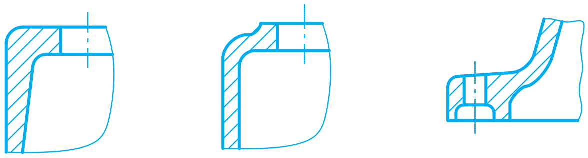
8.5.2 切削加工零件上常见的工艺结构

1. 倒角和圆角

为了便于装配和操作安全，常在轴、孔的端面处制成倒角，如图 8-22 所示；为了避免应力集中而产生裂纹，在轴肩处常加工成倒圆，如图 8-23 所示。



a) 不正确



b) 正确

图 8-21　铸件壁厚要均匀

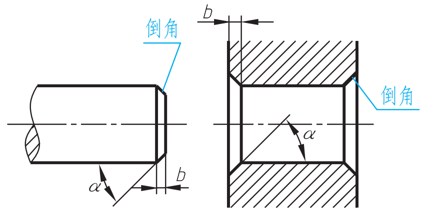


图 8-22　倒角

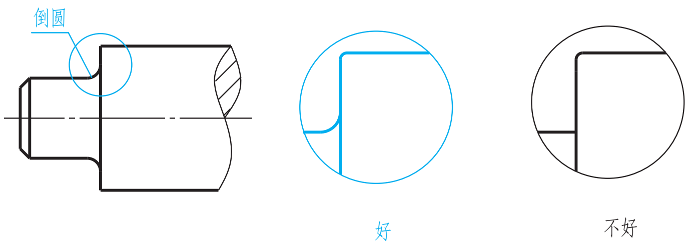


图 8-23　倒圆

2. 退刀槽和砂轮越程槽

在切削加工阶梯轴或孔时，为了便于退刀或砂轮磨削，常在加工面的适当位置预先加工出螺纹退刀槽或砂轮越程槽，如图 8-24 和图 8-25 所示。

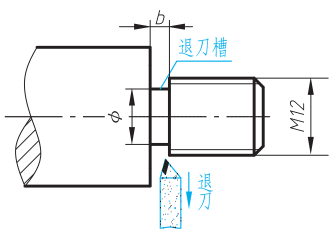


图 8-24　螺纹退刀槽

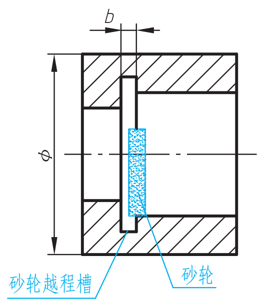


图 8-25　砂轮越程槽

3. 凸台和凹坑

零件的接触面一般都需要加工，为了减少加工面积，常在被加工面上做出凸台、凹坑或

凹槽等结构，如图 8-26 所示。

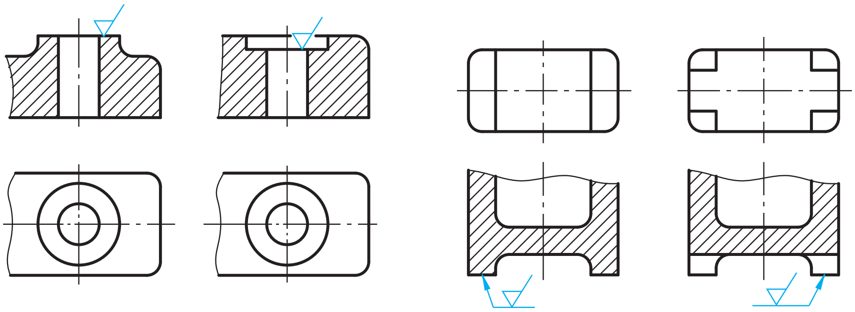


图 8-26　凸台与凹坑等结构

8.6　读零件图

读零件图，就是要弄清楚零件的形状及大小，以及读出零件的结构特点和加工制造、检验过程中的技术要求等。

8.6.1　读零件图的步骤和方法

1. 概括了解

从标题栏中可以了解零件的名称、材料、比例、数量等，从而初步了解零件的作用、大小。

2. 深入分析视图，想象零件形状

这一步骤是读零件图的关键。首先找出主视图，分析各视图的投影关系，明确各剖视图及断面图的剖切位置及表达目的。然后根据零件的功用及视图特征，运用形体分析和结构分析的方法，将主视图和其他视图分解成若干部分，按着先易后难的顺序，逐个看懂并想象出其形状。

3. 分析尺寸和技术要求

分析尺寸的方法是先找出长、宽、高三个方向的尺寸基准，然后按形体分析方法找出每个形体的定形尺寸、定位尺寸，再通过分析图中的技术要求，如公差、表面粗糙度及文字说明等的基础上，弄清主要加工面与非加工面。

4. 综合考虑

通过分析视图、尺寸标注和技术要求的内容，综合起来，就有了全面的认识，达到读图的目的。

8.6.2　零件图读图举例

例 8-2　读齿轮油泵泵体零件图，如图 8-27 所示。

从标题栏里不仅可以了解零件名称，还可知道它是用灰铸铁铸造而成的，画图比例为 1∶2。

该零件图采用了四个基本视图，其中主视图为全剖视图，剖切位置为泵体的前后对称面，其余三个视图以外形为主，并以局部剖视表达内部结构，如各种孔的形状、孔深等。因

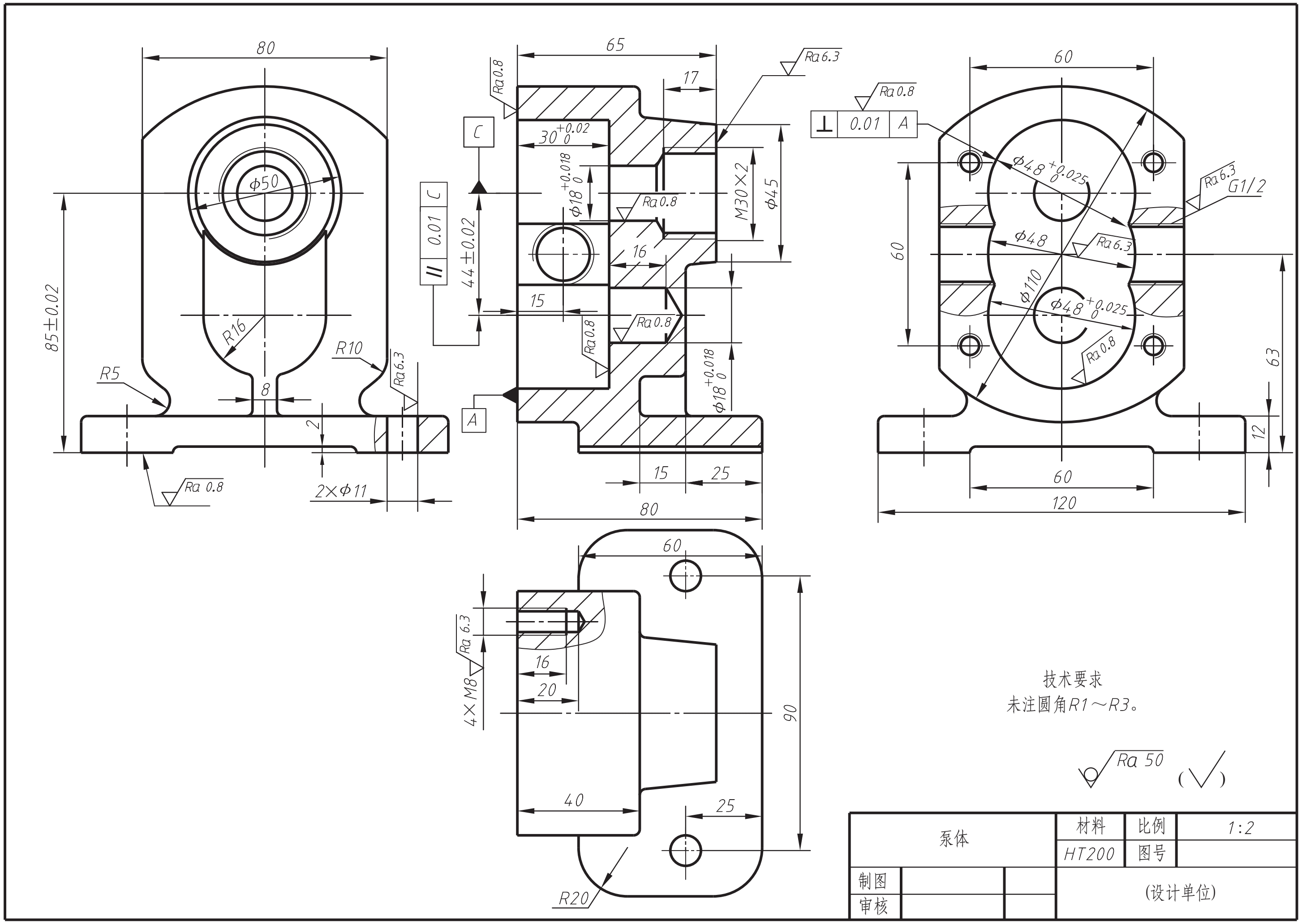


图 8-27 齿轮油泵泵体零件图

剖切位置明显，故省略标注。

由主、俯视图可想象出它的外部形状，主要由安装板、凸缘、主体和肋板组成，如图 8-28 所示。安装板为带圆角的长方体，其上有两个 $\phi11$mm 的安装孔，底部铸有一凹槽，以减小加工面积和增加安装时的稳定度。肋板由主、右视图可知其形状，其作用是增加强度和刚度。凸缘用来支承主动轴和从动轴，凸缘 4 的内部有一台阶孔，其 $\phi18^{+0.018}_{0}$mm 是与主动轴配合的圆柱孔径部分，而 M30×2 螺孔内要充填填料，并用螺母拧紧后防止漏油；凸缘 3 的内部为 $\phi18^{+0.018}_{0}$ mm 孔。孔径是与从动轴配合的，主体由主、俯、左、右视图可知其外形为长圆形；它的内部是一个大空腔，由四段内圆柱面（$\phi48$mm，深 $30^{+0.02}_{0}$mm）构成，用来容纳一对齿轮并留有进出油的空间（由主、左视图看出）。前后两侧分别由密封用螺孔（G1/2）与大空腔相通，用来连接进出油管。为了与泵盖连接，由左视图可以看出，主体左端面有四个螺钉孔。

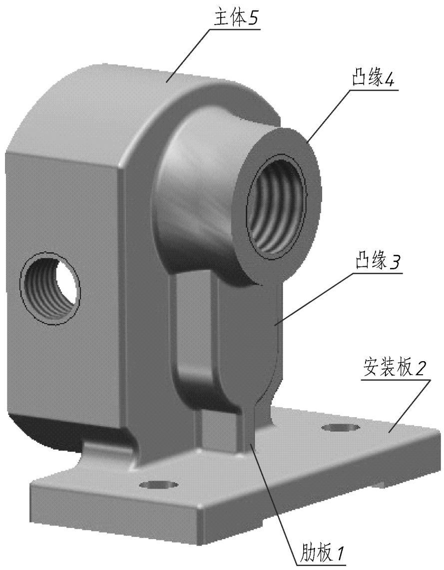


图 8-28　齿轮油泵泵体组成

读懂上述几部分后，就可综合想象出齿轮油泵体的整体形状，如图 8-28 所示。

分析零件图尺寸，是进一步了解该零件的重要方法。在分析尺寸时，首先要找出主要尺寸基准，由图 8-27 可以看出泵体高度方向主要尺寸基准为安装板底面，辅助基准为主动轴轴孔的轴线，以此轴线为基准保证主动轴轴孔与从动轴轴孔的孔距及其相互位置。这种标注法既能保证设计要求又便于加工。长度方向的基准为左端面；宽度方向的基准为前、后对称面。主要尺寸一般都注有尺寸公差，如与轴相配合的孔的尺寸 $\phi18^{+0.018}_{0}$mm，放置齿轮的内腔 $30^{+0.02}_{0}$mm，主动轴孔位置尺寸（85±0.02）mm，螺孔、安装孔等定形和定位尺寸及其他一般尺寸。

在图 8-27 中，重要的配合面及其基准面（轴孔、底面、左端面、容纳齿轮的孔腔）等均有较高的表面粗糙度要求（图中为$\sqrt{Ra\,0.8}$），而不重要的接触面和光孔、螺孔等表面粗糙度要求较低，为$\sqrt{Ra\,6.3}$，非加工面的表面粗糙度则注为$\sqrt{Ra\,50}$（不去除材料）。在该零件图中还有两项位置公差要求，即两 $\phi18^{+0.018}_{0}$mm 轴孔的平行度要求和 $\phi48^{+0.025}_{0}$mm 孔与基准面 A 的垂直度要求。

最后综合以上各项内容，对该泵体就有了全面认识，即看懂了这张零件图。

第 9 章

装 配 图

9.1 装配图的作用和内容

9.1.1 装配图的作用

表达机器或部件的工作原理、装配关系和零件结构形状等内容的工程图样，称为装配图。

设计一部机器或部件时，设计者首先根据实际要求和设计者的经验，参考有关图样和资料画出其装配图，然后再按照装配图拆画出全部零件图。部件测绘时，首先根据实际的零件画出零件图，再根据零件图画出装配图。装配图在机器或部件的设计、制造、装配、检验、安装、使用和维修等方面都发挥着重要作用，它是指导生产的重要技术文件之一。图 9-1 所示为调压阀的轴测图，图 9-2 所示为该调压阀的装配图。

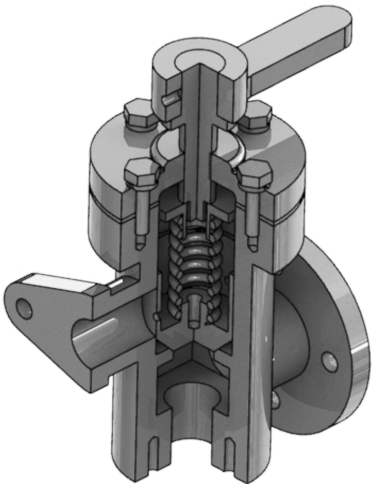


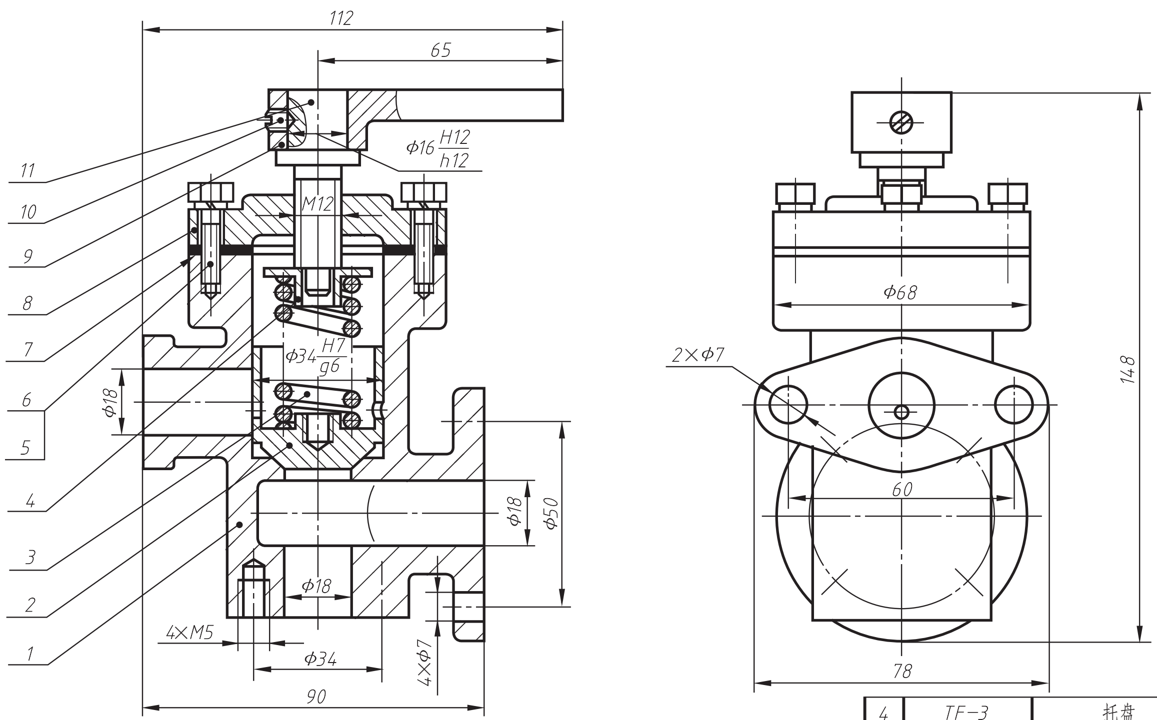
图 9-1 调压阀轴测图

9.1.2 装配图的内容

（1）一组图形 运用各种表达方法旨在清楚地表达出机器或部件的工作原理、各零件之间装配关系以及各零件结构形状的一组图形。所谓装配关系是指零件之间的配合、连接、相对位置及传动关系等。

（2）必要的尺寸 装配图中只标注机器的性能（规格）、装配、安装和外形等方面的尺寸。

（3）技术要求 用文字和符号注明对机器或部件的装配、安装、检验和使用等方面提出的要求以及性能指标等。



技术要求
件2 阀门与件1 阀座的锥面须配合研磨。

序号	代号	名称	数量	材料	备注
11	TF-7	螺杆	1	30	
10	GB/T 71—1985	紧定螺钉M5×5	1	Q235A	
9	TF-6	扳手	1	15	
8	TF-5	阀盖	1	HT150	
7	TF-4	纸垫	1	纸板	
6	GB 93—1987	弹簧垫圈5	4	65Mn	
5	GB/T 5780—2016	螺栓M5×20	4	Q235A	
4	TF-3	托盘	1	20	
3	GB/T 2089—2009	压簧3.5×18×40	1	65Mn	
2	TF-2	阀门	1	62H	
1	TF-1	阀体	1	HT150	

调压阀	共 1 张	图号	TF-00
	第 1 张	比例	1:2
制图		(单位)	
审核			

图 9-2 调压阀装配图

（4）零件的序号、明细栏和标题栏　为了生产和管理的需要，对装配图中的每个零件都应进行编号，并填写明细栏和标题栏中的各项内容。

9.2　部件的表达方法

机器或部件表达方法与零件的表达方法有相似之处，因此，机件表达的各种视图、剖视图、断面图以及规定画法等在装配图中仍然适用。但根据装配图侧重表达机器或部件的工作原理和装配关系这一特点，《技术制图》国家标准中又规定了如下一些装配图的规定画法、特殊表达方法和简化画法。

9.2.1　装配图的规定画法

1. 相邻零件的接触面和非接触面的画法

相邻两个零件，当它们的表面相接触或是配合面时，只画一条轮廓线；当相邻两零件不接触或是非配合面时，即两零件之间有间隙，此时要画两条轮廓线，如图 9-3 所示。

2. 剖面线的画法

在剖视图中，为了区分相邻且不同的零件，相邻零件剖面线方向应按相反的方向画出。如同时与第三个零件接触，可使剖面线错开或改变剖面线的间距，如图 9-4 所示。但是同一零件无论在哪个剖视图或断面图中，剖面线方向、间隔都必须一致。

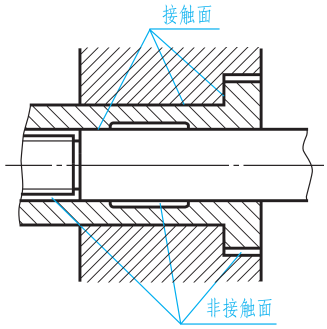
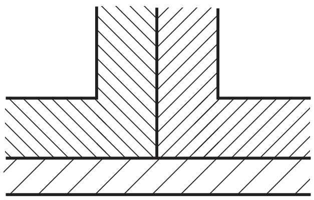


图 9-3　接触面和非接触面的画法


图 9-4　相邻零件剖面线的画法

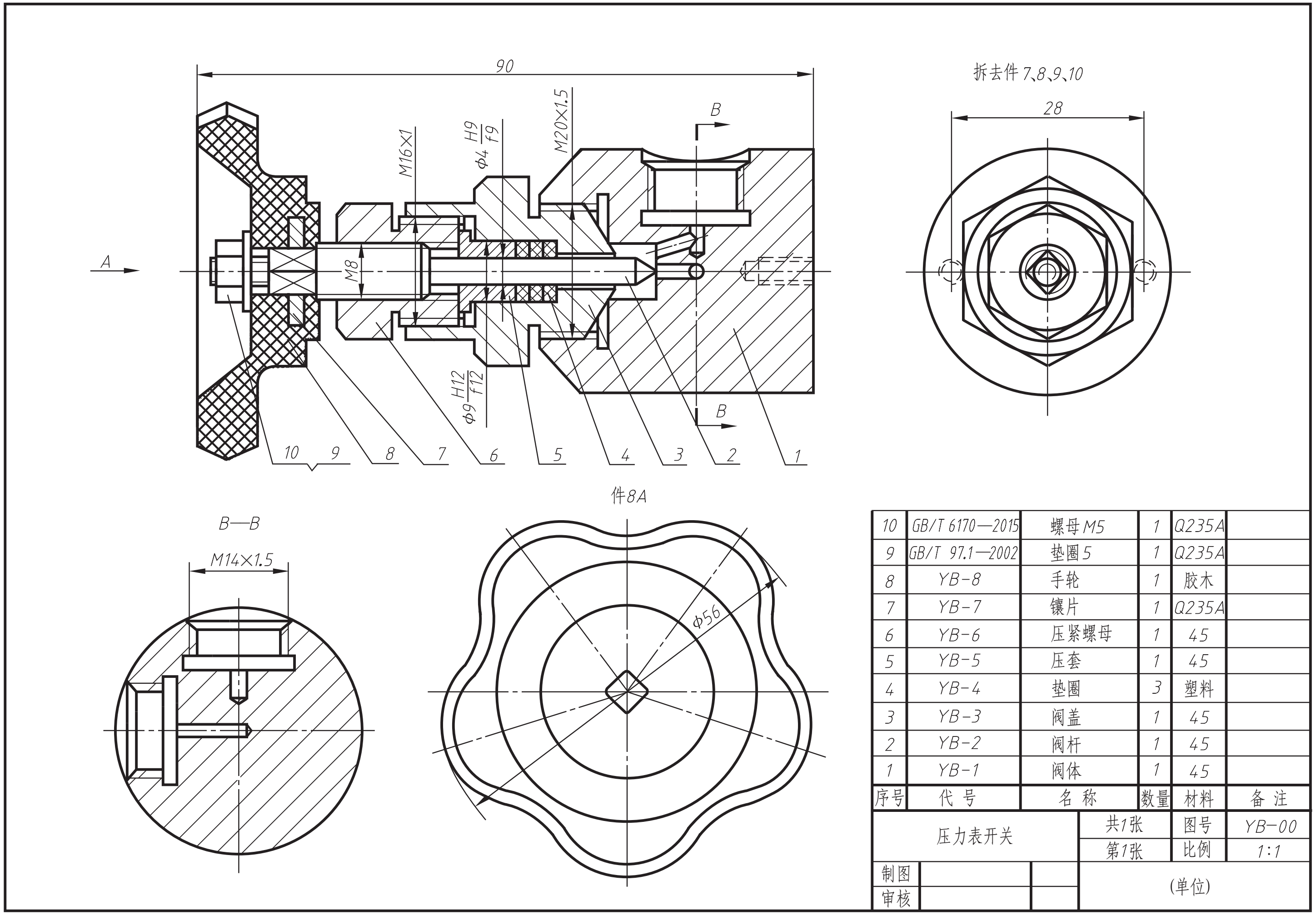
3. 紧固件及实心件的表达方法

当剖切平面通过螺栓、螺母和垫圈等紧固件及实心零件如轴、手柄、连杆、键、销和球等的轴线或对称面时，这些零件按不剖画出，即不画剖面符号，只画外形；而当剖切平面垂直于这些零件的轴线时，要画剖面符号。如果这些零件的局部有孔、槽等结构时，可作局部剖视，如图 9-2 中的 11 号零件。

9.2.2　装配图的特殊表达方法

1. 拆卸画法

在装配图中，当某些零件遮住了需要表达的其他结构或装配关系，而这些零件在其他视图上已表达清楚时，为了表达被遮挡的零件的装配情况，可假想拆去一个或几个零件后，画出其余部分的视图，在视图上方标注“拆去零件×××”，这种表达方法称为拆卸画法，如图 9-5 中的左视图。



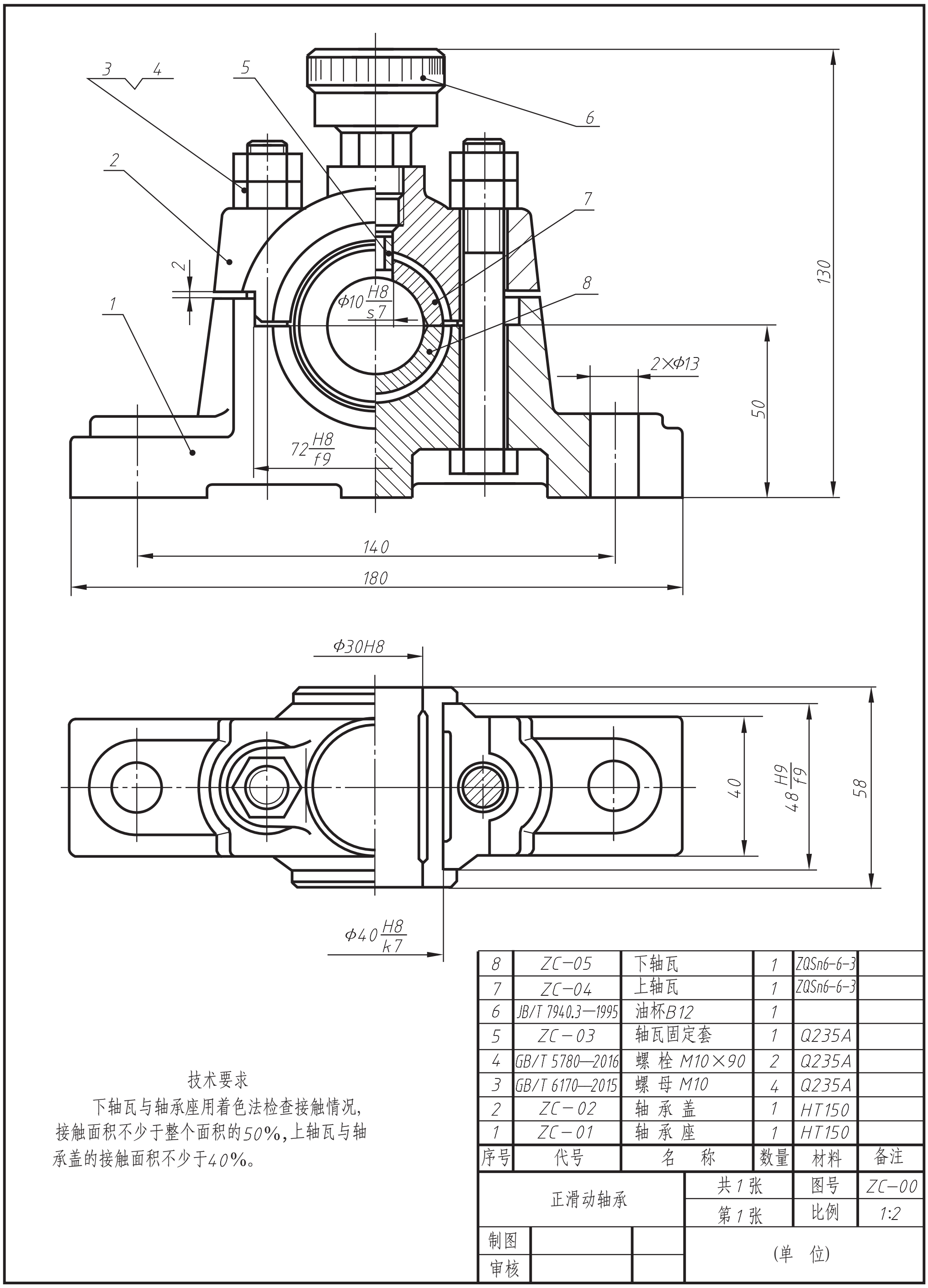
序号	代 号	名 称	数量	材料	备 注
10	GB/T 6170—2015	螺母M5	1	Q235A	
9	GB/T 97.1—2002	垫圈5	1	Q235A	
8	YB-8	手轮	1	胶木	
7	YB-7	镶片	1	Q235A	
6	YB-6	压紧螺母	1	45	
5	YB-5	压套	1	45	
4	YB-4	垫圈	3	塑料	
3	YB-3	阀盖	1	45	
2	YB-2	阀杆	1	45	
1	YB-1	阀体	1	45	

压力表开关	共1张	图号	YB-00
	第1张	比例	1:1
制图		(单位)	
审核			

图 9-5 压力表开关装配图

2. 沿结合面剖切画法

为了表达某些内部结构，可假想剖切平面沿两零件的结合面剖切，画出其余部分，称为沿结合面剖切。采用此方法被横向剖切到的实心杆件，如螺栓、轴、销等均须画上剖面线，而结合面处不画剖面线。如图 9-6 所示的正滑动轴承装配图中的俯视图即为沿轴承盖 2 与轴



技术要求

下轴瓦与轴承座用着色法检查接触情况，接触面积不少于整个面积的50%，上轴瓦与轴承盖的接触面积不少于40%。

序号	代号	名称	数量	材料	备注
8	ZC−05	下轴瓦	1	ZQSn6-6-3	
7	ZC−04	上轴瓦	1	ZQSn6-6-3	
6	JB/T 7940.3—1995	油杯B12	1		
5	ZC−03	轴瓦固定套	1	Q235A	
4	GB/T 5780—2016	螺 栓 M10×90	2	Q235A	
3	GB/T 6170—2015	螺 母 M10	4	Q235A	
2	ZC−02	轴 承 盖	1	HT150	
1	ZC−01	轴 承 座	1	HT150	

正滑动轴承	共 1 张	图号	ZC−00
	第 1 张	比例	1:2
制图		(单 位)	
审核			

图 9-6 正滑动轴承装配图

承座 1 及上轴瓦 7 与下轴瓦 8 的阶梯结合面剖得的半剖视图。

3. 夸大画法

装配图中往往有一些薄片零件、细丝弹簧、微小间隙及较小的锥度等，当按实际尺寸无法画出时，可以把它们作适当的尺寸放大再画出的方法，称为夸大画法，如图 9-2 中纸垫 7 的画法。

4. 假想画法

在装配图中，为了表达与该装配体相邻的零件或部件之间的位置关系，将相邻的零件或部件的轮廓用双点画线画出。运动的零件可能有几个极限位置，可以只画出其中一个极限位置，其他位置用双点画线画出，这种画法统称为假想画法，如图 9-7 所示。

5. 展开画法

在装配图中，为了表达某些重叠的装配关系，如齿轮传动顺序和装配关系，假想将空间轴系按传动关系展开在一个平面上绘出，在所得展开图上方标出“×—×展开”，这种画法称为展开画法，如图 9-7 中的 *A*—*A* 展开图。

6. 单独表示某个零件

在装配图中，如某个零件的形状没有表达清楚，而对理解工作原理或装配关系有影响时，为了方便读图，可将此零件单独画出并在所画视图的上方标出该零件的视图名称，在相应视图的附近用箭头指明投射方向，并注上相同字母，此种画法称为单独表示某个零件，如图 9-5 中的 8 号零件。

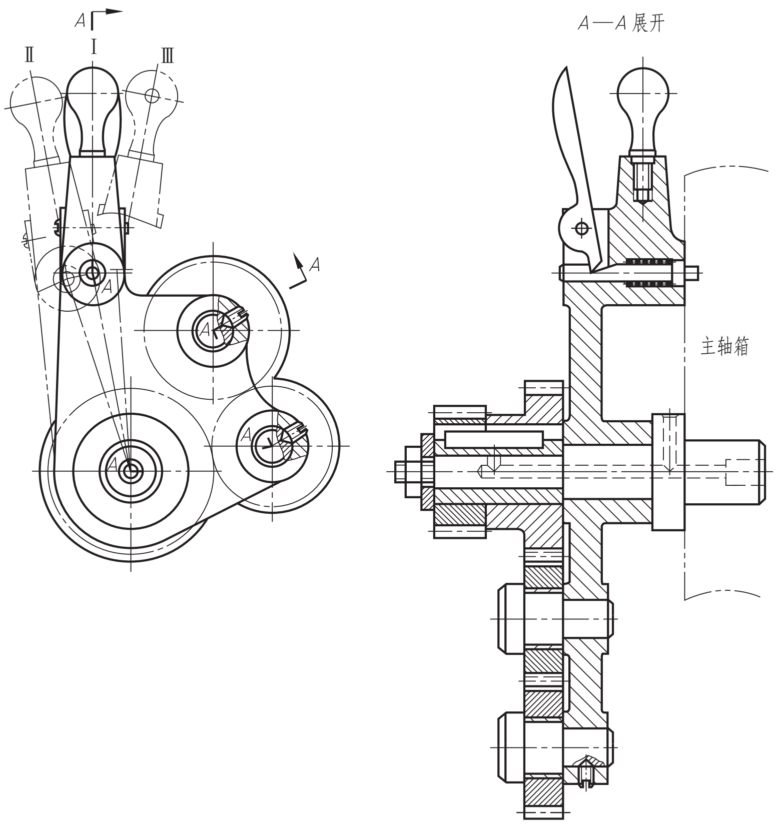


图 9-7　交换齿轮架的假想画法和展开画法

9.2.3 简化画法

1）在装配图中，零件上的一些工艺结构，如较小的倒角、圆角、退刀槽等可以省略不画；螺栓头部、螺母由倒角形成的曲线可以不画，即按无倒角画出，如图 9-8 所示。

2）装配图中相同的螺栓、螺柱、螺钉等紧固件，只要详细地画出其中的一处，其余位置允许用点画线画出它们的中心位置即可，如图 9-9 所示。

3）装配图中的滚动轴承，其中一半按剖视图画出，另一半可采用通用画法表示。厚度≤2mm 的垫片，剖开后可以涂黑代替剖面线，如图 9-9 所示。

4）装配图中剖切平面通过标准组件，如油杯、管接头等轴线时，这些组件可按不剖绘制，即只画其外形图，如图 9-6 中的 6 号组件。

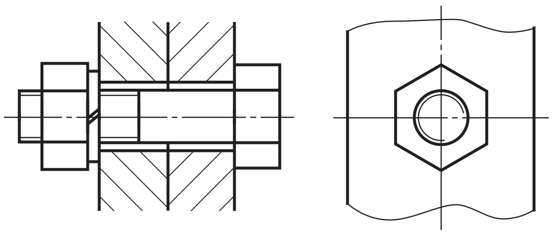


图 9-8　螺栓、螺母头部的简化画法

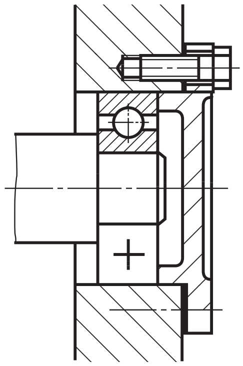


图 9-9　螺栓及轴承的简化画法

9.3 装配图中的尺寸标注及技术要求

9.3.1 装配图中的尺寸标注

零件图中要求必须标注出零件的全部尺寸，否则将无法完成该零件的加工。而装配图则不同，根据装配图的作用，只需标注出其性能（规格）、装配、安装以及外形等方面的尺寸。

1. 性能（规格）尺寸

性能（规格）尺寸是表示机器或部件的性能、规格和特性的尺寸。这类尺寸在设计之初就已确定，它是设计、了解和选用机器或部件的主要依据。如图 9-2 所示的调压阀装配图中的 ϕ18mm 孔径尺寸，图 9-6 所示的正滑动轴承中 ϕ30H8 孔径及尺寸 50mm。

2. 装配尺寸

标注机器或部件各零件之间有装配关系的尺寸，通常有：

（1）配合尺寸　装配图中凡是有公差配合要求的，要标注出公称尺寸和配合代号，如图 9-2 所示调压阀装配图中的 ϕ34H7/g6 及 ϕ16H12/h12。标注这类尺寸便于由装配图拆画零件图，也便于制定装配工艺，进行装配和调试。

（2）相对位置尺寸　为了保证机器在装配完成后能按照设计要求正常运转，往往某些

零件之间必须要有准确的尺寸来控制其相对位置，因此需要标注出其尺寸，如轴线之间的距离（中心距），轴线到基准面的距离（中心高），装配、调整所需间隙尺寸等。如图9-6所示的正滑动轴承装配图中的间隙尺寸2mm及中心高尺寸50mm就是属于这一类尺寸。

3. 安装尺寸

机器或部件安装在机架或地基上，和外界发生联系的尺寸称为安装尺寸。注出这类尺寸便于机器的安装。如图9-6所示的正滑动轴承装配图中的孔径尺寸2×Φ13mm及孔的中心距尺寸140mm。

4. 外形尺寸

外形尺寸是指机器或部件的总长、总宽和总高尺寸。这些尺寸可作为机器或部件的包装和运输的参考尺寸，同时表明机器或部件安装或工作时所需要的空间。如图9-6所示的正滑动轴承装配图中的尺寸180mm、58mm、130mm等。

5. 其他重要尺寸

除上述尺寸之外，在机器或部件设计和计算过程中，经过计算确定或选定的尺寸以及一些必须保证的尺寸也应注出，如齿轮的模数和齿数、传动螺纹的参数、运动件的极限位置尺寸以及与实现部件功能有直接关系的关键结构尺寸等。如图9-6中的间隙尺寸2mm是为了保证上轴瓦7与下轴瓦8接触良好而要求的。机器或部件不同，这类尺寸的多少也不同。

注意上述五类尺寸有时它们又是相关的，如图9-6中尺寸50mm既是性能（规格）尺寸又是相对位置尺寸。

9.3.2 装配图中的技术要求

装配图的技术要求主要是指有关机器或部件的性能、装配与调整、试验与验收以及使用与维护等方面的要求，不便于标注表达的，应用文字加以说明。不同的机器或部件，其技术要求不同，一般包括以下几个方面：

1. 装配要求

机器在装配过程中应注意的事项，如零件的接触面情况、润滑、间隙及准确度等要求。

2. 检验要求

机器在装配后的试验、性能检验和操作方法等方面的要求、条件及应达到的指标。

3. 使用要求

对机器使用、维修及保养方面提出的要求。

在装配图中，技术要求用文字注写在明细栏上方或图纸的空白处。

9.4 装配图中的零件序号、明细栏和标题栏

9.4.1 零件序号

为了便于读装配图及图样的管理，对装配图中的每个零件必须进行编号，称其为零件序号，并逐项填写明细栏中内容。编号有以下几项要求：

1）装配图中每一种零件编一个序号，其序号与明细栏中序号一致。相同的零件只编一个序号，标准的组件（如油杯、滚动轴承等）编一个序号。

2）零件序号注在视图轮廓线之外，可按顺时针或逆时针方向依次排列，且序号在水平方向或垂直方向要排列整齐。

3）序号指引线用细实线画出，分布要均匀，不要相互交叉，必要时指引线可画成折线，但只能曲折一次；当指引线通过剖面线区域时避免与剖面线平行。

4）指引线的起点应在所指零件的可见轮廓线之内，并画一个小圆点。如果所指的零件为一涂黑的薄片，应将小圆点改画成箭头，指向零件轮廓，如图 9-2 中零件 7 的指引线。

5）指引线的另一端，画一细实线的水平线或细实线圆，在水平线上或圆内注写序号，序号的字号比装配图中的尺寸数字大一号或两号。

6）同一组紧固件如螺栓、螺母和垫圈可使用一条公共指引线，如图 9-10 所示。

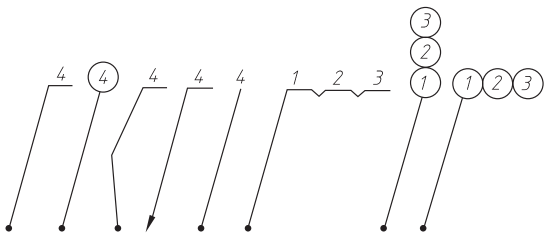


图 9-10　指引线的画法

9.4.2　明细栏和标题栏

由序号、代号、名称、数量、材料、重量、备注等内容组成的栏目称为明细栏，一般将其画在标题栏的上方，序号按自下而上的顺序填写，如果上方位置不够，可在标题栏左边画出其余部分。生产部门也有另加附页填写明细栏的情况。明细栏及标题栏的竖线用粗实线画，内格横线用细实线画，表头横线用粗实线画。图 9-11 所示的格式供学习者参考使用。

标准件应在“代号”一栏中填写相应的国标代号，在名称一栏中同时注明该标准件的规格尺寸，如“螺栓 M10×90”。“备注”一栏中可填写某些常用件的重要参数，如齿轮的模数、齿数等以及需要说明的内容。

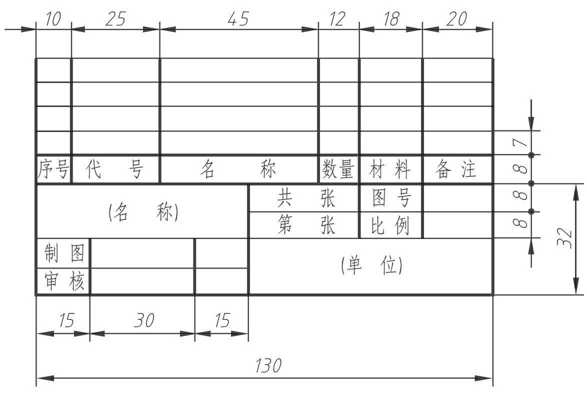


图 9-11　装配图明细栏和标题栏

9.5　装配工艺结构

选择合理的装配结构，不仅能保证机器或部件的装配质量，达到性能要求，而且有利于其安装和拆卸。因此，在设计机器或部件时，应考虑到零件之间装配结构的合理性并在装配图中正确地反映此结构，下面简单介绍几种常见的装配结构。

9.5.1 接触面的合理配置

1）两个接触的零件，在同一方向上只能有一个接触面，这样才能保证正确的装配，不能出现两个接触面，否则难以达到使用要求，如图 9-12 所示。

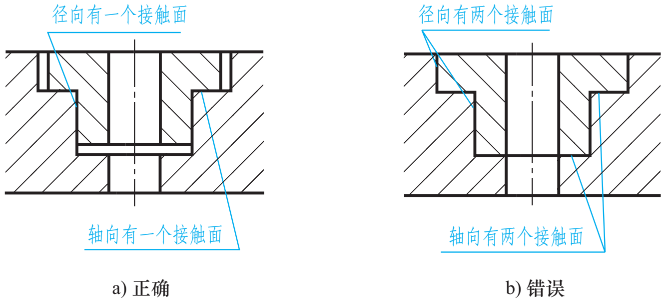


图 9-12 同一方向只能有一个接触面

2）当两个零件上有两个互相垂直的表面同时接触时，在接触面的转角处要有圆角、倒角、越程槽或退刀槽等，以保证两零件之间有良好的接触，如图 9-13 所示。

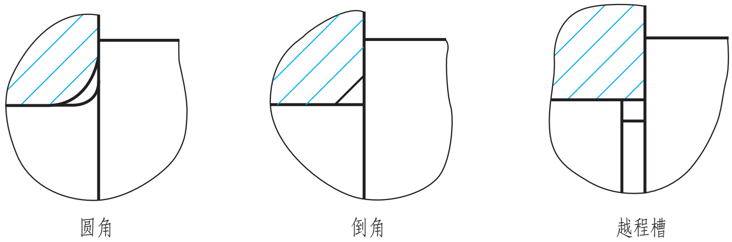


图 9-13 转角处应有圆角、倒角或越程槽

9.5.2 便于零件装、拆的合理结构

1）轴端用螺纹进行连接时，应按图 9-14a 所示的画法，使螺母留有旋紧的余地。

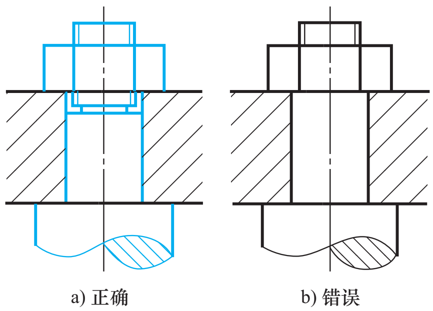


图 9-14 轴端螺纹连接

2）对装有衬套的结构，应考虑衬套的拆卸问题。如图 9-15a 中与衬套相对的孔 ϕ_2，图 9-15b、c 中在衬套底部设计出的螺孔或槽都是为了便于拆卸衬套而设置的。

3）在采用螺纹紧固件连接时，要考虑装、拆的可能和方便，如图 9-16 所示，要留出扳手活动空间和螺钉装拆空间。

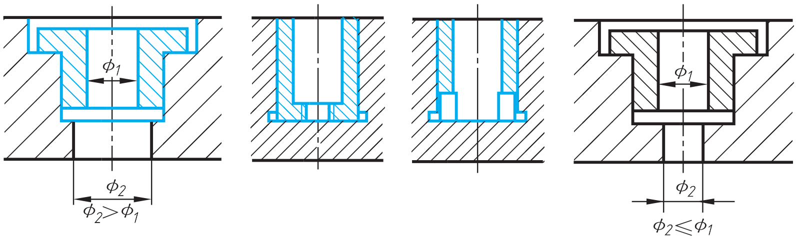


图 9-15　衬套的合理结构

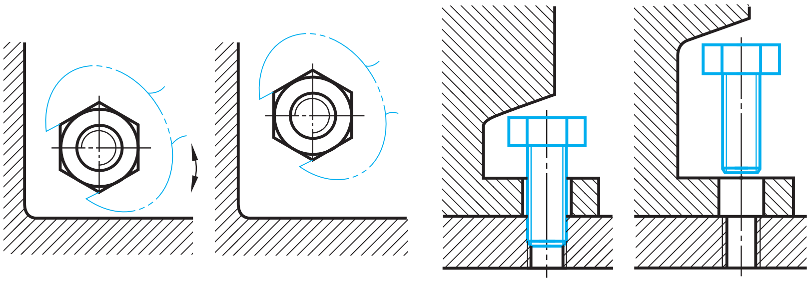


图 9-16　螺纹紧固件连接时便于装拆的合理结构

9.6　部件测绘和装配图画法

9.6.1　部件测绘

部件测绘是将部件拆卸成单个零件，对每个零件进行尺寸测量，画出零件图，再由零件图画出装配图，并完成相关的技术资料的过程。修复和改造机器时都要进行部件测绘，部件测绘步骤如下：

1. 测绘前的准备工作

根据产品说明书及有关资料或同类产品的参考资料，了解部件的用途、性能、工作原理及可能的结构形式，并准备相应的拆卸工具，如扳手、锤子、木棒以及测量工具如卡尺、钢直尺、内卡钳、外卡钳等。

2. 将部件拆成零件

先研究拆卸的顺序和方法，经过周密考虑后按一定的顺序拆卸零件，对于复杂的部件，为了记住拆卸的顺序，对拆下的每个零件进行编号，记录各零件间的装配关系和装配顺序。拆卸过程中不可损伤零件，不可拆的部分及过盈配合的零件尽可能不拆。

3. 绘制装配示意图

在全面了解部件结构的情况下，根据拆卸时记录的草图画出装配示意图，即用简单的线条扼要地表达出机器或部件的工作原理、传动关系及各零件之间的装配关系，如图 9-17 所示为齿轮油泵装配示意图。装配示意图的绘制将有利于零件图和装配图的绘制及复原部件。

4. 画零件草图

组成部件的每个零件除标准件及标准组件外，都要画零件草图，要注意零件间的尺寸

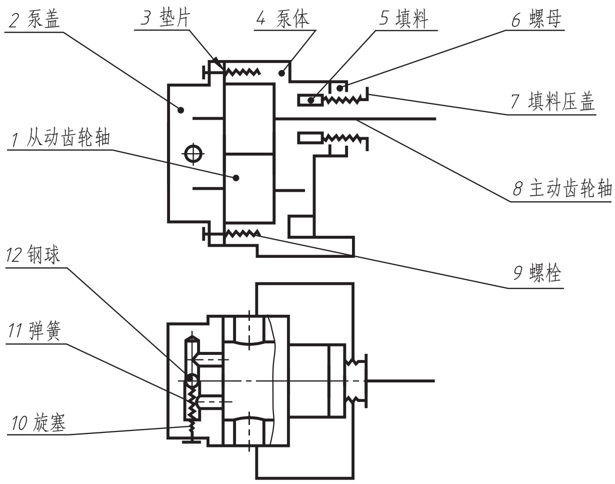


图 9-17　齿轮油泵装配示意图

协调。

5. 画装配图

根据装配示意图和零件草图绘制装配图。

6. 由装配图拆画零件图

根据装配图及零件草图画出每个零件的零件工作图。

9.6.2　装配图的画法

现以齿轮油泵为例说明装配图的画图步骤：

1. 确定表达方案

（1）确定主视图　部件由很多零件组成，装配图的主视图应尽量多地表达部件的结构、工作原理、传动路线及零件之间的装配关系，而且通常将部件按工作位置放置。如图 9-18 所示齿轮油泵装配图中的主视图，采用全剖视图表达部件的主要结构及传动关系。

（2）其他视图的选择　其他视图作为主视图的补充，用较少的视图数量进一步表达部件的结构、工作原理及主要零件的形状。如图 9-18 所示齿轮油泵的装配图中采用半剖视的左视图和局部剖视的俯视图，表达出泵体、泵盖的形状和进油口、出油口，从而表达出齿轮油泵的结构和工作原理。

2. 装配图的绘图步骤

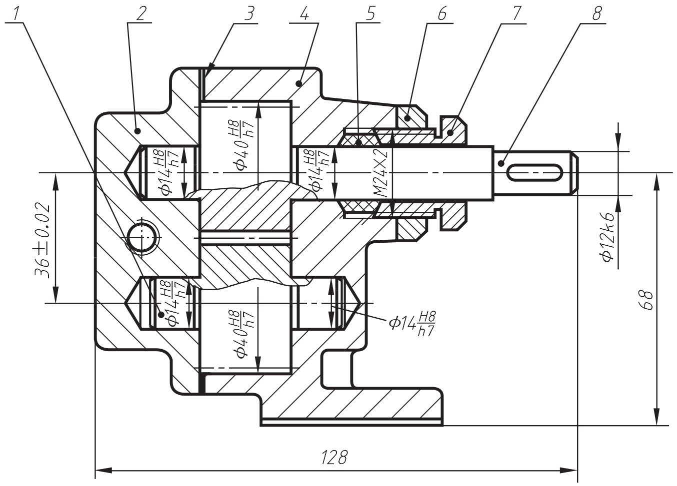
1）根据部件的总体尺寸及视图数量选择图纸的幅面，初步确定各视图在图纸上的位置，画出各视图的主要轴线、对称线及基准线。如图 9-19a 所示，画出齿轮油泵装配图的主视图、俯视图和左视图的主要轴线，基准面及标题栏、明细栏所占的位置。

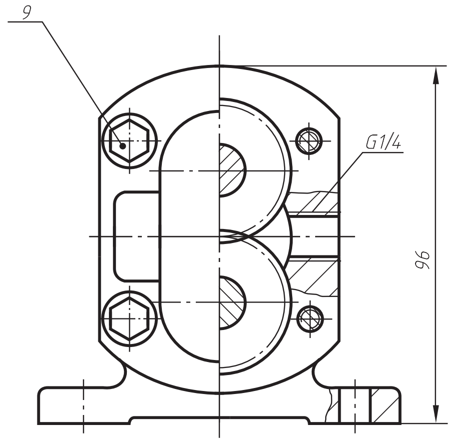
2）先画较大的主要零件的各视图，如图 9-19b 所示，画出泵体的三视图，再按照装配关系、相接触及连接关系画出主动齿轮轴和从动齿轮轴，再画泵盖、填料、填料压盖，最后画出钢球、旋塞、弹簧及螺钉等，如图 9-19c 所示。

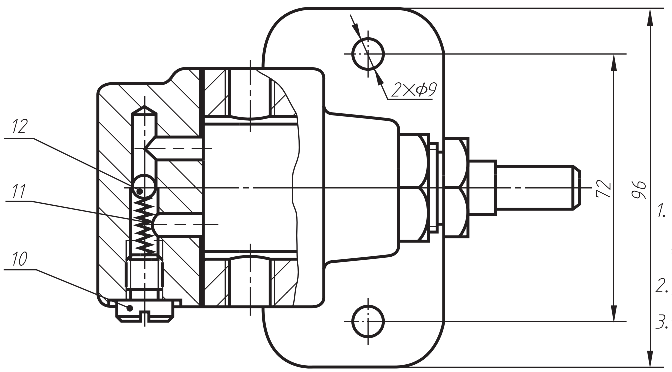
3）标注装配图中的必要尺寸，注写技术要求。

4）校对、描深、编写零件序号，填写明细栏和标题栏。

5）检查全图、清洁图面，如图 9-18 所示。







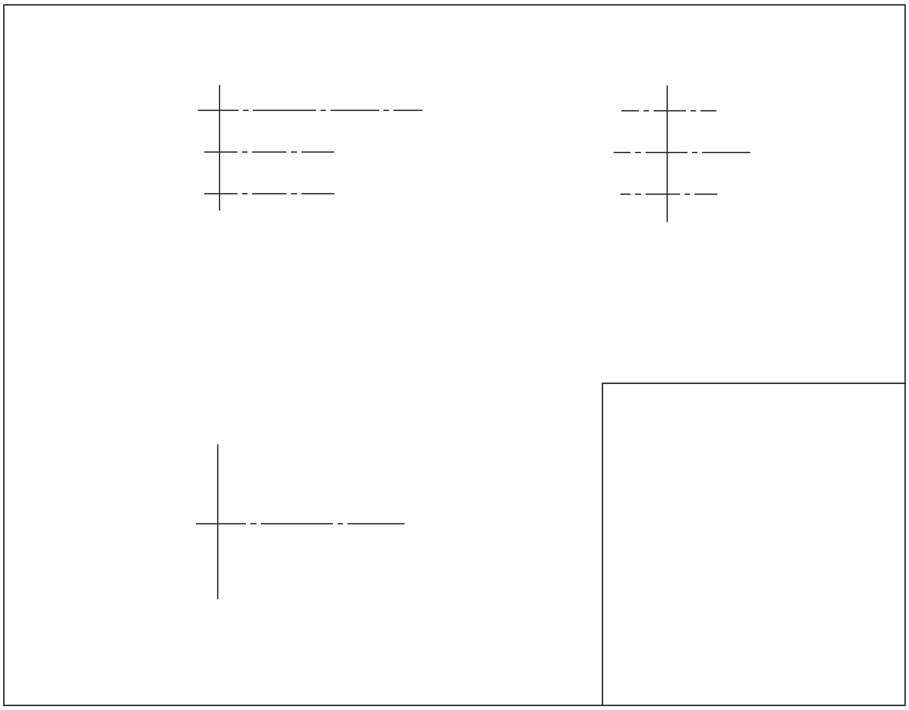
技术要求

1. 油泵压力不小于9.8×10^{4} Pa，输油量不小于2.5×10^{-3}m/min。
2. 无渗油现象。
3. 齿轮运转时应无不规则的噪声和不正常的发热现象。

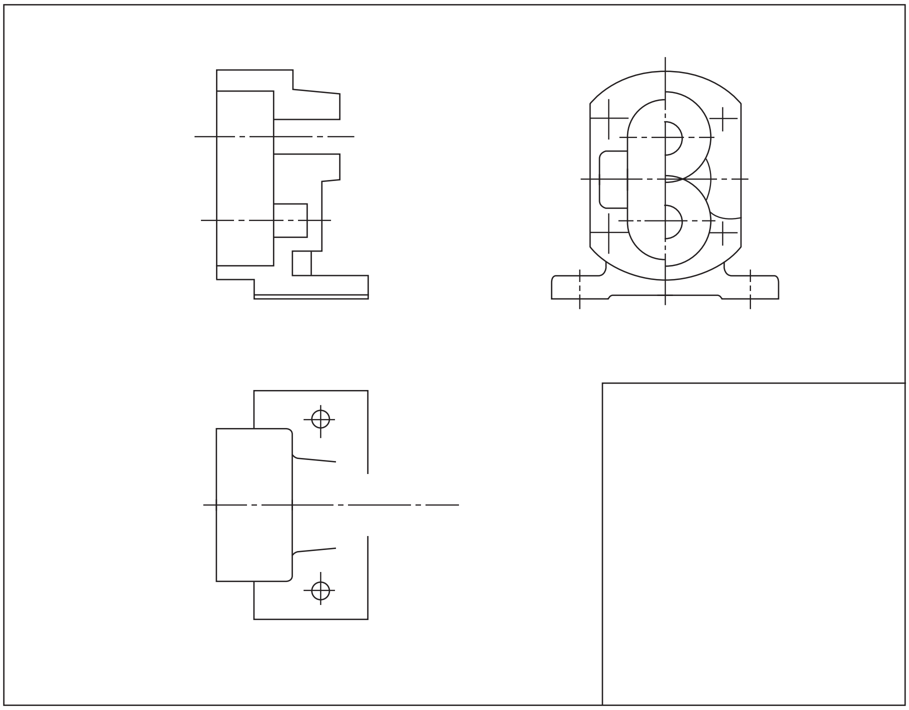
序号	代号	名称	数量	材料	备注
12	GB/T 308.1—2013	钢球 Φ6.5	1	GCr15	
11	CB-9	弹簧	1	65Mn	
10	CB-8	旋塞	1	Q235A	
9	GB/T 5780—2016	螺栓 M5×20	4	Q235A	
8	CB-7	主动齿轮轴	1	45	m=2 z=18
7	CB-6	填料压盖	1	45	
6	CB-5	螺母	1	Q235A	
5		填料	1	石棉绳	
4	CB-4	泵体	3	HT150	
3	CB-3	垫片	1	工业纸	
2	CB-2	泵盖	1	HT150	
1	CB-1	从动齿轮轴	1	45	m=2 z=18

齿轮油泵	共1张	图号	CB-00	
	第1张	比例	1:2	
制图			(单位)	
审核				

图 9-18 齿轮油泵装配图

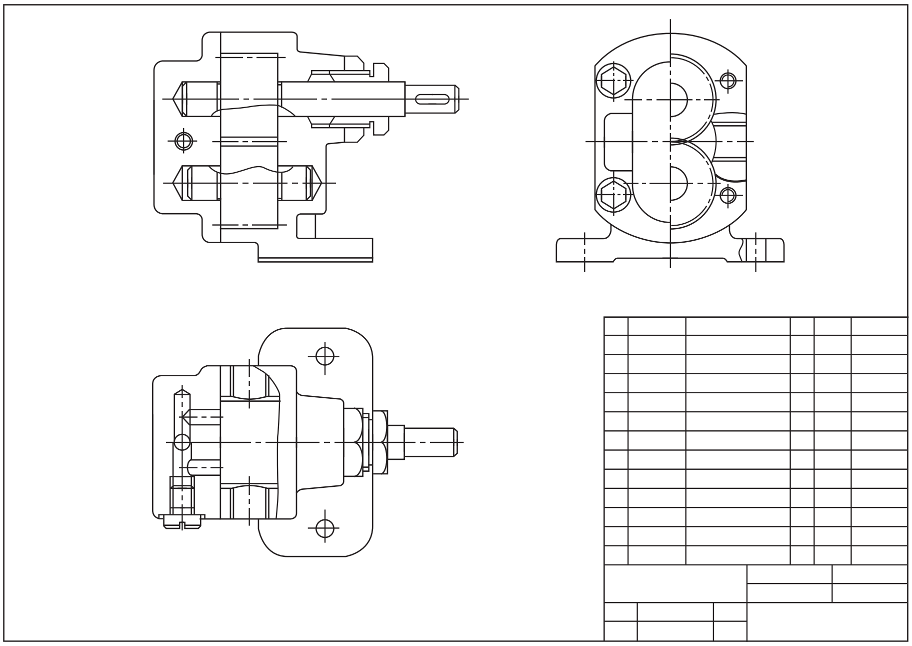


a)



b)

图 9-19　齿轮油泵装配图的绘图步骤



c)

图 9-19　齿轮油泵装配图的绘图步骤（续）

9.7　读装配图和拆画零件图

9.7.1　读装配图

读装配图就是搞清机器或部件的工作原理，零件间的装配连接关系及运动情况，零件的作用及其主要结构形状。工程技术人员必须具备读装配图的能力。现以膨胀阀为例说明读图的步骤和方法（图 9-20）。

1. 概括了解

首先根据标题栏、明细栏及有关使用说明和工作原理说明，概括地了解部件的名称、性能和工作原理等。根据比例和外形尺寸了解部件的大小。

膨胀阀为制冷系统中用来控制冷库温度的装置，阀体上的感温管 10 内充满对温度敏感的四氯化碳气体，当冷库温度变化时气体膨胀，推动膜片 8、垫块 7、推杆 6，使锥形弹簧 2 压缩，芯杆 4 和阀体间的间隙发生变化，从而改变氟利昂的流量，达到调节冷库中温度的目的。

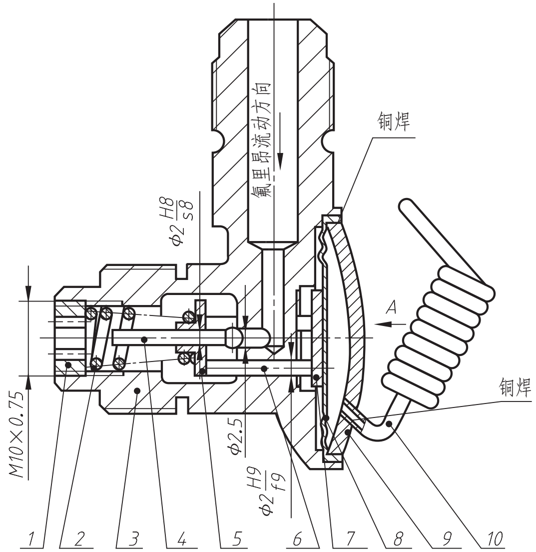
2. 分析视图

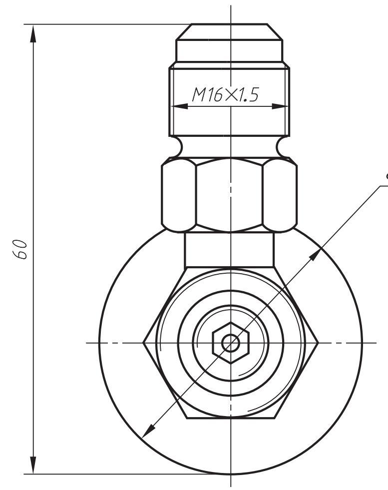
分析装配图由几个视图组成，各视图采用的表达方法和主要表达的内容。

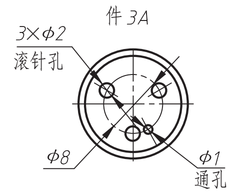
膨胀阀装配图采用四个视图表达。局部剖的主视图表达了部件的工作原理和主要装配关系，俯视图和左视图侧重表达部件的外部结构，单独表达零件 3 的 *A* 向视图表达了阀体上右侧面各个孔的分布情况。

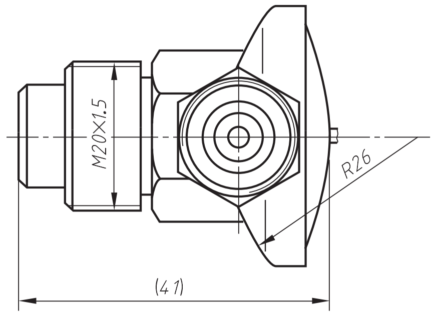
3. 区分零件

根据明细栏中零件的序号，在装配图中找到各个零件在部件中的位置和范围，对照各个









技术要求

1.温包感温管等应焊牢，保证密封不泄漏。

2.充灌制冷剂后封牢，充前干燥处理。

3.感温管温度在−10～−5℃内，球阀动作灵敏。

序号	代　号	名　　称	数量	材 料	备 注
10	PF–10	感　温　管	1	纯铜	
9	PF–9	保　温　盖	1	H62	
8	PF–8	膜　片	1	纯铜	厚 0.2
7	PF–7	垫　块	1	H62	
6	PF–6	推　杆 Φ2×12	3	45	
5	PF–5	弹　簧　座	1	Q235A	
4	PF–4	芯　杆	1	Q235A	
3	PF–3	阀　体	1	H62	
2	PF–2	锥　形　弹　簧	1	65Mn	
1	PF–1	螺　母	1	H62	

膨　胀　阀	共 1 张	图 号	PF–00	
	第 1 张	比 例	1:1	
制 图			(单　位)	
审 核				

图 9-20　膨胀阀装配图

视图弄清零件在部件中的作用、该零件与其他零件的装配关系。在装配图中区别不同的零件，主要根据零件的序号和剖面线的方向。每一个零件只能有一个序号，不同的零件序号不同。同一零件无论在哪个视图中，剖面线的方向和间距一致，再根据投影关系就可以在各个视图中区分各零件的范围及形状。

4. 分析尺寸与技术要求

根据装配图中的尺寸和公差配合代号，可进一步了解零件之间的连接关系和装配关系。

膨胀阀装配图中螺母 1 和阀体 3 通过螺纹连接在一起，芯杆 4 和弹簧座 5 是过盈配合，为不可拆连接，在部件工作时一起运动。推杆 6 和阀体 3 是间隙配合，工作时它们之间可有相对运动。零件 9、10、3 用铜焊连接。

5. 归纳总结

在对零件的形状、尺寸及各零件之间装配关系进行反复分析的基础上，归纳和总结，再结合部件的工作原理和技术要求，进一步分析部件的结构，会得到一个完整、清楚的认识，为拆画零件图做好准备。

9.7.2 拆画零件图

根据装配图画出零件图称为拆画零件图。在完全读懂装配图的条件下，就可以拆画零件图，拆画零件图时应注意以下几个问题。

1. 表达方案的选择

拆画装配图中某个零件时，零件表达方案的选择，可以参考它在装配图中的表达方案，但不能机械地照抄它在装配图中的视图表达，因各种零件在部件中位置不同，将这个位置的视图作为零件图的视图不一定适合零件图的要求，因此，要根据零件视图选择的原则来确定。例如，膨胀阀装配图（图 9-20）中感温管 10 的轴线为倾斜位置，在画它的零件图时轴线要求水平方向画。多数情况，对于壳体、箱体、底座等零件的主视图，一般可以与装配图一致，如图 9-21 所示为从膨胀阀装配图中拆画出的阀体零件图。

2. 零件的结构形状

在装配图中，一些零件的工艺结构如倒角、圆角、退刀槽等常被省略，但在画零件图时，应根据设计及工艺要求将这些结构补画出来，尤其是铸造零件两个非加工面交角处应画出铸造圆角。

3. 零件图的尺寸标注

零件图的尺寸，凡在装配图中已经注明的尺寸可直接按尺寸注出，要注意相关零件的尺寸应协调一致，有公差配合的尺寸，要注出该尺寸的公差带代号或上、下极限偏差。其他的尺寸应直接从装配图中量取，与标准件相关的尺寸，如螺纹尺寸、销孔直径等，应从明细栏查出标准件的规格，再从相应的标准中查得尺寸。

4. 零件图的技术要求

根据零件的接触面和配合关系，确定零件各表面的表面粗糙度值，一般接触面和配合面的表面粗糙度值应小一些，非接触面和非配合面的表面粗糙度值应较大，铸造零件的非接触面一般为不加工表面。

零件的其他技术要求，可根据零件的作用，结合设计要求查阅相关手册或参阅同类、相近产品的零件图确定。

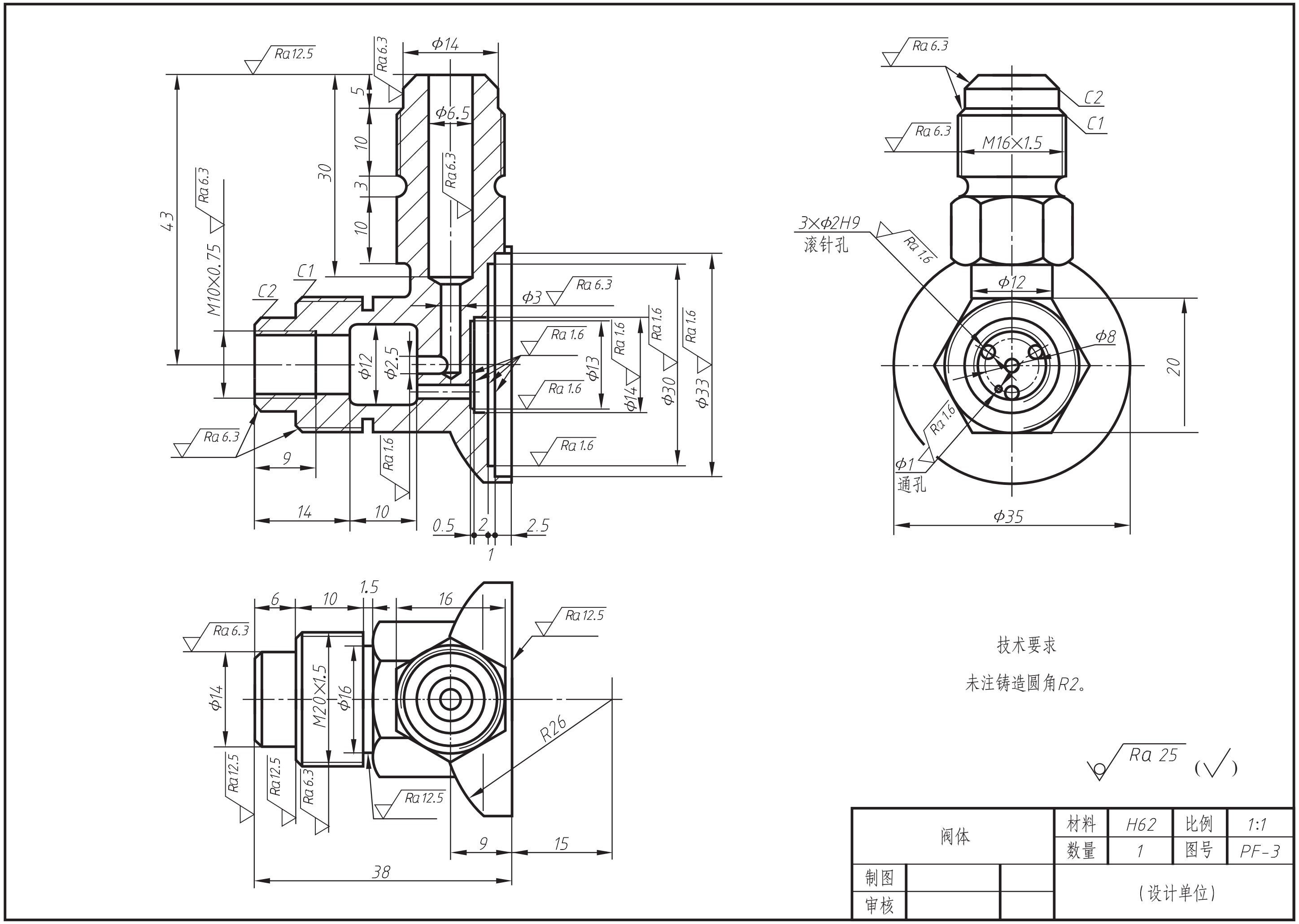
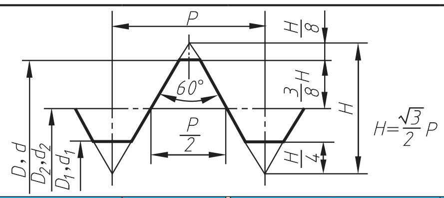

技术要求
未注铸造圆角R2。
Ra 25 (√)
阀体
材料 H62
比例 1:1
数量 1
图号 PF-3
制图
审核
(设计单位)
3×Φ2H9 滚针孔
Φ1 通孔
M16×1.5
M20×1.5
M10×0.75
Φ35
R26
38

图 9-21 阀体零件图

附录

附录 A　螺纹

附表 A-1　普通螺纹（摘自 GB/T 193—2003、GB/T 196—2003）　　（单元：mm）



公称直径 D、d		螺距 P		粗牙小径	公称直径 D、d		螺距 P		粗牙小径
第一系列	第二系列	粗牙	细牙	D_1、d_1	第一系列	第二系列	粗牙	细牙	D_1、d_1
3		0.5	0.35	2.459		14	2	1.5,(1.25*),1	11.835
	3.5	0.6		2.850	16			1.5,1	13.835
4		0.7	0.5	3.242		18	2.5	2,1.5,1	15.294
	4.5	0.75		3.688	20				17.294
5		0.8		4.134		22			19.294
6		1	0.75	4.917	24		3		20.752
	7	1		5.917		27			23.752
8		1.25	1,0.75	6.647	30		3.5	(3),2,1.5,1	26.211
10		1.5	1.25,1,0.75	8.376		33		(3),2,1.5	29.211
12		1.75	1.25,1	10.106	36		4	3,2,1.5	31.670

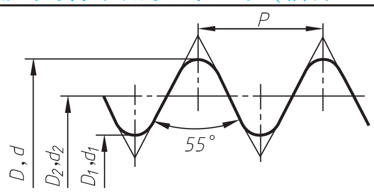
注：1. 优先选用第一系列，括号内尺寸尽可能不用，第三系列未列入。
　　2. * 仅用于发动机的火花塞。

附表 A-2　细牙普通螺纹螺距与小径的关系　　（单位：mm）

螺距 P	小径 D_1、d_1	螺距 P	小径 D_1、d_1	螺距 P	小径 D_1、d_1
0.35	$d-1+0.621$	1	$d-2+0.918$	2	$d-3+0.835$
0.5	$d-1+0.459$	1.25	$d-2+0.647$	3	$d-4+0.752$
0.75	$d-1+0.188$	1.5	$d-2+0.376$	4	$d-5+0.670$

注：表中小径按 $D_1=d_1=d-2\times\frac{5}{8}H$，$H=\frac{\sqrt{3}}{2}P$ 计算得出。

附表 A-3　55°非密封管螺纹的基本尺寸（摘自 GB/T 7307—2001）

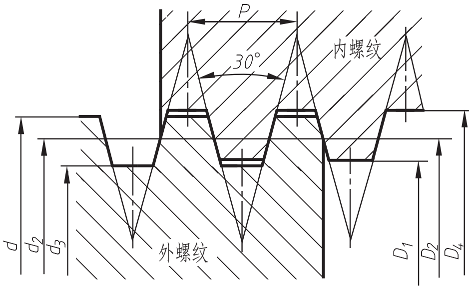


（续）

尺寸代号	每 25.4mm 内所包含的牙数 n	螺距 P/mm	基本直径	
			大径 D、d/mm	小径 D、d_1/mm
1/16	28	0.907	7.723	6.561
1/8	28	0.907	9.728	8.566
1/4	19	1.337	13.157	11.445
3/8	19	1.337	16.662	14.950
1/2	14	1.814	20.955	18.631
5/8	14	1.814	22.911	20.587
3/4	14	1.814	26.441	24.117
7/8	14	1.814	30.201	27.877
1	11	2.309	33.249	30.291
$1\frac{1}{8}$	11	2.309	37.897	34.939
$1\frac{1}{4}$	11	2.309	41.910	38.952
$1\frac{1}{2}$	11	2.309	47.803	44.845
$1\frac{3}{4}$	11	2.309	53.746	50.788
2	11	2.309	59.614	56.656
$2\frac{1}{4}$	11	2.309	65.710	62.752
$2\frac{1}{2}$	11	2.309	75.184	72.226
$2\frac{3}{4}$	11	2.309	81.534	78.576
3	11	2.309	87.884	84.926

附表 A-4 梯形螺纹的直径与螺距系列和基本尺寸（摘自 GB/T 5796.2—2005、GB/T 5796.3—2005）

（单位：mm）



公称直径 d		螺距 P	中径 $d_2=D_2$	大径 D_4	小径	
第一系列	第二系列				d_3	D_1
8		1.5	7.25	8.30	6.20	6.50
	9	1.5	8.25	9.30	7.20	7.50
		2	8.00	9.50	6.50	7.00
10		1.5	9.25	10.30	8.20	8.50
		2	9.00	10.50	7.50	8.00
	11	2	10.00	11.50	8.50	9.00
		3	9.50	11.50	7.50	8.00
12		2	11.00	12.50	9.50	10.00
		3	10.50	12.50	8.50	9.00
	14	2	13.00	14.50	11.50	12.00
		3	12.50	14.50	10.50	11.00
16		2	15.00	16.50	13.50	14.00
		4	14.00	16.50	11.50	12.00
	18	2	17.00	18.50	15.50	16.00
		4	16.00	18.50	13.50	14.00
20		2	19.00	20.50	17.50	18.00
		4	18.00	20.50	15.50	16.00

公称直径 d		螺距 P	中径 $d_2=D_2$	大径 D_4	小径	
第一系列	第二系列				d_3	D_1
	22	3	20.50	22.50	18.50	19.00
		5	19.50	22.50	16.50	17.00
		8	18.00	23.00	13.00	14.00
24		3	22.50	24.50	20.50	21.00
		5	21.50	24.50	18.50	19.00
		8	20.00	25.00	15.00	16.00
	26	3	24.50	26.50	22.50	23.00
		5	23.50	26.50	20.50	21.00
		8	22.00	27.00	17.00	18.00
28		3	26.50	28.50	24.50	25.00
		5	25.50	28.50	22.50	23.00
		8	24.00	29.00	19.00	20.00
	30	3	28.50	30.50	26.50	27.00
		6	27.00	31.00	23.00	24.00
		10	25.00	31.00	19.00	20.00
32		3	30.50	32.50	28.50	29.00
		6	29.00	33.00	25.00	26.00
		10	27.00	33.00	21.00	22.00

（续）

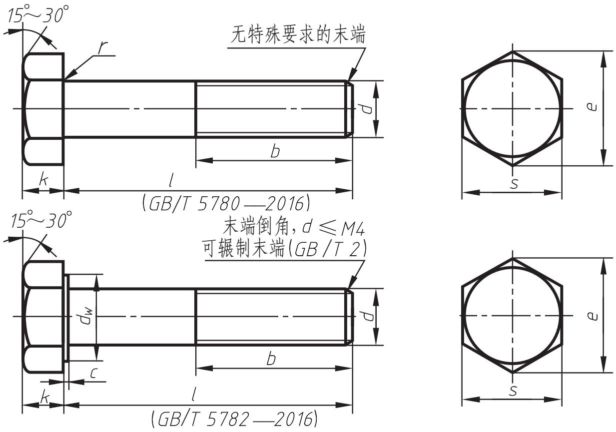
公称直径 d 第一系列	公称直径 d 第二系列	螺距 P	中径 $d_2=D_2$	大径 D_4	小径 d_3	小径 D_1	公称直径 d 第一系列	公称直径 d 第二系列	螺距 P	中径 $d_2=D_2$	大径 D_4	小径 d_3	小径 D_1
	34	3	32. 50	34. 50	30. 50	31. 00		38	3	36. 50	38. 50	34. 50	35. 00
		6	31. 00	35. 00	27. 00	28. 00			7	34. 50	39. 00	30. 00	31. 00
		10	29. 00	35. 00	23. 00	24. 00			10	33. 00	39. 00	27. 00	28. 00
36		3	34. 50	36. 50	32. 50	33. 00	40		3	38. 50	40. 50	36. 50	37. 00
		6	33. 00	37. 00	29. 00	30. 00			7	36. 50	41. 00	32. 00	33. 00
		10	31. 00	37. 00	25. 00	26. 00			10	35. 00	41. 00	29. 00	30. 00

附录 B　常用标准件

附表 B-1　螺栓

（单位：mm）

六角头螺栓—C 级（摘自 GB/T 5780—2016）、六角头螺栓（摘自 GB/T 5782—2016）



标记示例

螺纹规格 d=M12、公称长度 l=80、性能等级为 8. 8 级、表面氧化、A 级六角头螺栓：

螺栓　GB/T 5782　M12×80

螺纹规格 d			M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42
b 参考	l≤125		12	14	16	18	22	26	30	38	46	54	66	—	—
	125<l≤200		18	20	22	24	28	32	36	44	52	60	72	84	96
	l>200		31	33	35	37	41	45	49	57	65	73	85	97	109
c		max	0. 4	0. 4	0. 5	0. 5	0. 6	0. 6	0. 6	0. 8	0. 8	0. 8	0. 8	0. 8	1
		min	0. 15	0. 15	0. 15	0. 15	0. 15	0. 15	0. 15	0. 2	0. 2	0. 2	0. 2	0. 2	0. 3
d_w	产品等级	A	4. 57	5. 88	6. 88	8. 88	11. 63	14. 63	16. 63	22. 49	28. 19	33. 61	—	—	—
		B	4. 45	5. 74	6. 74	8. 74	11. 47	14. 47	16. 47	22	27. 7	33. 25	42. 75	51. 11	59. 95
e	产品等级	A	6. 01	7. 66	8. 79	11. 05	14. 38	17. 77	20. 03	26. 75	33. 53	39. 98	—	—	—
		B	5. 88	7. 50	8. 63	10. 89	14. 20	17. 59	19. 85	26. 17	32. 95	39. 55	50. 85	60. 79	71. 3
k 公称			2	2. 8	3. 5	4	5. 3	6. 4	7. 5	10	12. 5	15	18. 7	22. 5	26
r			0. 1	0. 2	0. 2	0. 25	0. 4	0. 4	0. 6	0. 6	0. 8	0. 8	1	1	1. 2
s 公称			5. 5	7	8	10	13	16	18	24	30	36	46	55	65
l（商品规格范围）			20～30	25～40	25～50	30～60	40～80	45～100	50～120	65～160	80～200	90～240	110～300	140～360	160～440
l 系列			12，16，20，25，30，35，40，45，50，55，60，65，70，80，90，100，110，120，130，140，150，160，180，200，220，240，260，280，300，320，340，360，380，400，420，440，460，480，500												

注：1. A 级用于 d≤24mm 和 l≤10d 或 l≤150mm 的螺栓；B 级用于 d >24mm 和 l >10d 或 l>150mm 的螺栓。

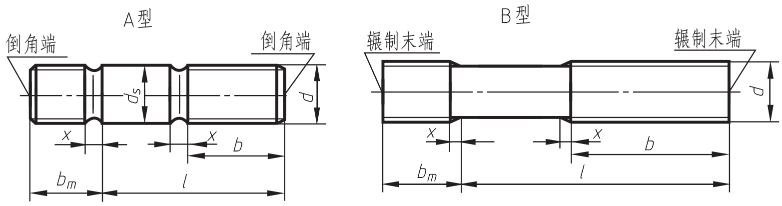
2. 螺纹规格 d 范围：GB/T 5780 为 M5～M64；GB/T 5782 为 M1. 6～M64。

3. 公称长度 l 范围：GB/T 5780 为 25～500；GB/T 5782 为 12～500。

附表 B-2　双头螺柱

（单位：mm）

双头螺柱——$b_m=1d$（摘自 GB/T 897—1988）
双头螺柱——$b_m=1.25d$（摘自 GB/T 898—1988）
双头螺柱——$b_m=1.5d$（摘自 GB/T 899—1988）
双头螺柱——$b_m=2d$（摘自 GB/T 900—1988）



标记示例

两端均为粗牙普通螺纹、$d=10$mm、$l=50$mm、性能等级为 4.8 级、B 型、$b_m=1d$ 双头螺柱：

螺柱　GB/T 897　M10×50

旋入机体一端为粗牙普通螺纹、旋入螺母一端为螺距 $P=1$ 的细牙普通螺纹、$d=10$mm、$l=50$mm、性能等级为 4. 8 级、A 型、$b_m=1d$ 的双头螺柱：

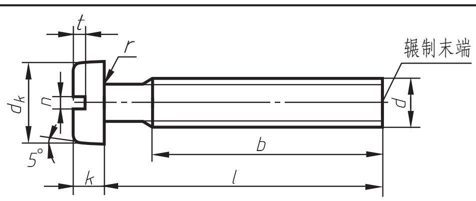
螺柱　GB/T 897　AM10—M10×1×50

螺纹规格		M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42
b_m（公称）	GB/T 897	5	6	8	10	12	16	20	24	30	36	42
	GB/T 898	6	8	10	12	15	20	25	30	38	45	52
	GB/T 899	8	10	12	15	18	24	30	36	45	54	63
	GB/T 900	10	12	16	20	24	32	40	48	60	72	84
d_s（max）		5	6	8	10	12	16	20	24	30	36	42
x（max）		2. 5P										
$\frac{l}{b}$		$\frac{16\sim22}{10}$ $\frac{25\sim50}{16}$	$\frac{20\sim22}{10}$ $\frac{25\sim30}{14}$ $\frac{32\sim75}{18}$	$\frac{20\sim22}{12}$ $\frac{25\sim30}{16}$ $\frac{32\sim90}{22}$	$\frac{25\sim28}{14}$ $\frac{30\sim38}{16}$ $\frac{40\sim120}{26}$ $\frac{130}{32}$	$\frac{25\sim30}{16}$ $\frac{32\sim40}{20}$ $\frac{45\sim120}{30}$ $\frac{130\sim180}{36}$	$\frac{30\sim38}{20}$ $\frac{40\sim55}{30}$ $\frac{60\sim120}{38}$ $\frac{130\sim200}{44}$	$\frac{35\sim40}{25}$ $\frac{45\sim65}{35}$ $\frac{70\sim120}{46}$ $\frac{130\sim200}{52}$	$\frac{45\sim50}{30}$ $\frac{55\sim75}{45}$ $\frac{80\sim120}{54}$ $\frac{130\sim200}{60}$	$\frac{60\sim65}{40}$ $\frac{70\sim90}{50}$ $\frac{95\sim120}{66}$ $\frac{130\sim200}{72}$ $\frac{210\sim250}{85}$	$\frac{65\sim75}{45}$ $\frac{80\sim110}{60}$ $\frac{120}{78}$ $\frac{130\sim200}{84}$ $\frac{210\sim300}{91}$	$\frac{65\sim80}{50}$ $\frac{85\sim110}{70}$ $\frac{120}{90}$ $\frac{130\sim200}{96}$ $\frac{210\sim300}{109}$
l 系列		16，（18），20，（22），25，（28），30，（32），35，（38），40，45，50，（55），60，（65），70，（75），80，（85），90，（95），100，110，120，130，140，150，160，170，180，190，200，210，220，230，240，250，260，280，300										

注：P 是粗牙螺纹的螺距。

附表 B-3　开槽圆柱头螺钉（摘自 GB/T 65—2016）

（单位：mm）



标记示例

螺纹规格 $d=$M5、公称长度 $l=20$mm、性能等级为 4. 8 级、不经表面处理的 A 级开槽圆柱头螺钉：

螺钉　GB/T 65　M5×20

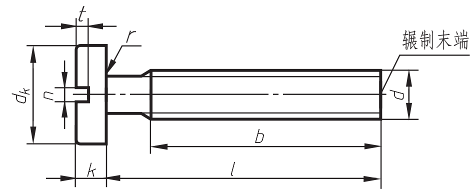
（续）

螺纹规格 d	M4	M5	M6	M8	M10
P(螺距)	0.7	0.8	1	1.25	1.5
b(min)	38	38	38	38	38
d_k(公称 max)	7	8.5	10	13	16
k(max)	2.6	3.3	3.9	5	6
n(公称)	1.2	1.2	1.6	2	2.5
r(min)	0.2	0.2	0.25	0.4	0.4
t(min)	1.1	1.3	1.6	2	2.4
公称长度 l	5~40	6~50	8~60	10~80	12~80
l 系列	5,6,8,10,12,(14),16,20,25,30,35,40,45,50,(55),60,(65),70,(75),80				

注：1. 公称长度 $l \leq 40$ 的螺钉，制出全螺纹。
2. 括号内的规格尽可能不采用。
3. 螺纹规格 d=M1.6~M10；公称长度 l=2~80mm。

附表 B-4　开槽盘头螺钉（摘自 GB/T 67—2016）

（单位：mm）



标记示例

螺纹规格 d=M5、公称长度 l=20mm、性能等级为 4.8 级，不经表面处理的 A 级开槽盘头螺钉：

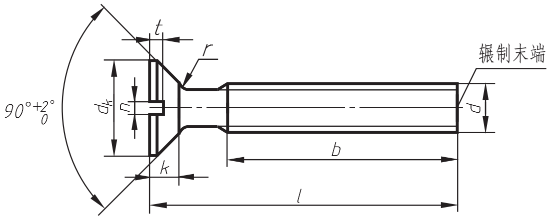
螺钉　GB/T67　M5×20

螺纹规格 d	M1.6	M2	M2.5	M3	(M3.5)	M4	M5	M6	M8	M10
P(螺距)	0.35	0.4	0.45	0.5	0.6	0.7	0.8	1	1.25	1.5
b(min)	25	25	25	25	38	38	38	38	38	38
d_k(max)	3.2	4	5	5.6	7	8	9.5	12	16	20
k(max)	1	1.3	1.5	1.8	2.1	2.4	3	3.6	4.8	6
n 公称	0.4	0.5	0.6	0.8	1	1.2	1.2	1.6	2	2.5
r(min)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.25	0.4	0.4
t(min)	0.35	0.5	0.6	0.7	0.8	1	1.2	1.4	1.9	2.4
公称长度 l	2~16	2.5~20	3~25	4~30	5~35	5~40	6~50	8~60	10~80	12~80
l 系列	2, 2.5, 3, 4, 5, 6, 8,10,12, (14),16, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50,(55), 60, (65), 70, (75), 80									

注：1. 括号内的规格尽可能不采用。
2. M1.6~M3 的螺钉、公称长度 $l \leq 30$mm 的，制出全螺纹；M4~M10 的螺钉、公称长度 $l \leq 40$mm 的，制出全螺纹。

附表 B-5　开槽沉头螺钉（摘自 GB/T 68—2000）

（单位：mm）



标记示例

螺纹规格 d=M5、公称长度 l=20mm、性能等级为 4.8 级，不经表面处理的 A 级开槽沉头螺钉：

螺钉　GB/T 68　M5×20

螺纹规格 d	M1.6	M2	M2.5	M3	M(3.5)	M4	M5	M6	M8	M10
P(螺距)	0.35	0.4	0.45	0.5	0.6	0.7	0.8	1	1.25	1.5
b(min)	25	25	25	25	38	38	38	38	38	38
d_k(公称 max)	3.6	4.4	5.5	6.3	8.2	9.4	10.4	12.6	17.3	20
k(公称 max)	1	1.2	1.5	1.65	2.35	2.7	2.7	3.3	4.65	5
n(公称)	0.4	0.5	0.6	0.8	1	1.2	1.2	1.6	2	2.5
r(max)	0.4	0.5	0.6	0.8	0.9	1	1.3	1.5	2	2.5
t(max)	0.5	0.6	0.75	0.85	1.2	1.3	1.4	1.6	2.3	2.6
公称长度 l	2.5~16	3~20	4~25	5~30	6~35	6~40	8~50	8~60	10~80	12~80
l 系列	2.5，3，4，5，6，8，10，12，(14)，16，20，25，30，35，40，45，50，(55)，60，(65)，70，(75)，80									

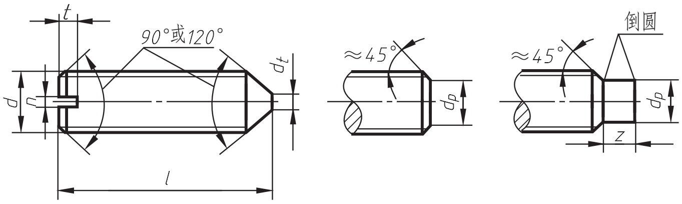
注：1. 括号内的规格尽可能不采用。

2. M1.6~M3 的螺钉、公称长度 l≤30mm 的，制出全螺纹；M4~M10 的螺钉、公称长度 l≤45mm 的，制出全螺纹。

附表 B-6　紧定螺钉

（单位：mm）

开槽锥端紧定螺钉（摘自 GB/T 71—1985）　开槽平端紧定螺钉（摘自 GB/T 73—1985）　开槽长圆柱端紧定螺钉（摘自 GB/T 75—1985）



标记示例

螺纹规格 d=M5、公称长度 l=12mm、性能等级为 14H 级、表面氧化的开槽长圆柱端紧定螺钉：

螺钉　GB/T 75　M5×12

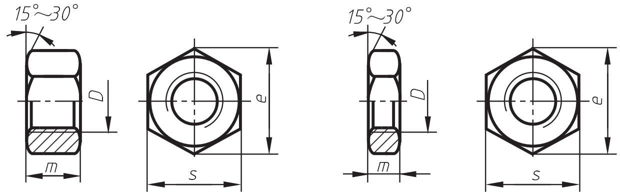
螺纹规格 d		M1.6	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12
P(螺距)		0.35	0.4	0.45	0.5	0.7	0.8	1	1.25	1.5	1.75
n(公称)		0.25	0.25	0.4	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.6	2
t(max)		0.74	0.84	0.95	1.05	1.42	1.63	2	2.5	3	3.6
d_t(max)		0.16	0.2	0.25	0.3	0.4	0.5	1.5	2	2.5	3
d_p(max)		0.8	1	1.5	2	2.5	3.5	4	5.5	7	8.5
z(max)		1.05	1.25	1.5	1.75	2.25	2.75	3.25	4.3	5.3	6.3
l	GB/T 71—1985	2~8	3~10	3~12	4~16	6~20	8~25	8~30	10~40	12~50	14~60
	GB/T 73—1985	2~8	2~10	2.5~12	3~16	4~20	5~25	6~30	8~40	10~50	12~60
	GB/T 75—1985	2.5~8	3~10	4~12	5~16	6~20	8~25	8~30	10~40	12~50	14~60
l 系列		2,2.5,3,4,5,6,8,10,12,(14),16,20,25,30,35,40,45,50,(55),60									

注：1. l 为公称长度。

2. 括号内的规格尽可能不采用。

附表 B-7 螺母 （单位：mm）

1 型六角螺母—C 级 （摘自 GB/T 41—2016）	1 型六角螺母—A 级和 B 级 （摘自 GB/T 6170—2015）	六角薄螺母 （摘自 GB/T 6172.1—2016）



标记示例

螺纹规格 D=M12、性能等级为 5 级、不经表面处理、C 级的 1 型六角螺母：

螺母 GB/T 41 M12

螺纹规格 D=M12、性能等级为 8 级、不经表面处理、A 级的 1 型六角螺母：

螺母 GB/T 6170 M12

螺纹规格 D		M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42
e(min)	GB/T 41	—	—	8.63	10.89	14.20	17.59	19.85	26.17	32.95	39.55	50.85	60.79	71.3
	GB/T 6170	6.01	7.66	8.79	11.05	14.38	17.77	20.03	26.75	32.95	39.55	50.85	60.79	71.3
	GB/T 6172.1	6.01	7.66	8.79	11.05	14.38	17.77	20.03	26.75	32.95	39.55	50.85	60.79	71.3
s(max)	GB/T 41	—	—	8	10	13	16	18	24	30	36	46	55	65
	GB/T 6170	5.5	7	8	10	13	16	18	24	30	36	46	55	65
	GB/T 6172.1	5.5	7	8	10	13	16	18	24	30	36	46	55	65
m(max)	GB/T 41	—	—	5.6	6.4	7.9	9.5	12.2	15.9	19	22.3	26.4	31.9	34.9
	GB/T 6170	2.4	3.2	4.7	5.2	6.8	8.4	10.8	14.8	18	21.5	25.6	31	34
	GB/T 6172.1	1.8	2.2	2.7	3.2	4	5	6	8	10	12	15	18	21

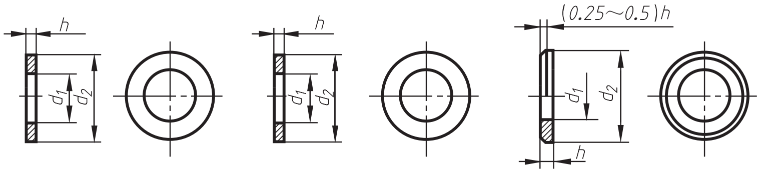
注：A 级用于 $D \leqslant 16$mm；B 级用于 $D>16$mm。

附表 B-8 平垫圈 （单位：mm）

小垫圈—A 级（摘自 GB/T 848—2002）

平垫圈—A 级（摘自 GB/T 97.1—2002）

平垫圈 倒角型—A 级（摘自 GB/T 97.2—2002）



标记示例

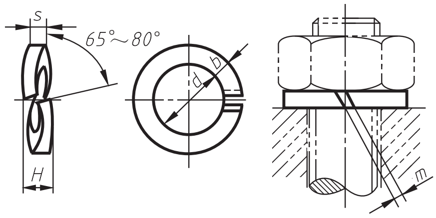
标准系列、规格 8mm、性能等级为 140HV 级、不经表面处理的平垫圈：

垫圈 GB/T 97.1 8

公称尺寸（螺纹规格 d）		1.6	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	16	20	24	30	36
d_1（公称 min）	GB/T 848	1.7	2.2	2.7	3.2	4.3	5.3	6.4	8.4	10.5	13	17	21	25	31	37
	GB/T 97.1	1.7	2.2	2.7	3.2	4.3	5.3	6.4	8.4	10.5	13	17	21	25	31	37
	GB/T 97.2	—	—	—	—	—	5.3	6.4	8.4	10.5	13	17	21	25	31	37
d_2（公称 max）	GB/T 848	3.5	4.5	5	6	8	9	11	15	18	20	28	34	39	50	60
	GB/T 97.1	4	5	6	7	9	10	12	16	20	24	30	37	44	56	66
	GB/T 97.2	—	—	—	—	—	10	12	16	20	24	30	37	44	56	66
h（公称）	GB/T 848	0.3	0.3	0.5	0.5	0.5	1	1.6	1.6	1.6	2	2.5	3	4	4	5
	GB/T 97.1	0.3	0.3	0.5	0.5	0.8	1	1.6	1.6	2	2.5	3	3	4	4	5
	GB/T 97.2	—	—	—	—	—	1	1.6	1.6	2	2.5	3	3	4	4	5

附表 B-9　弹簧垫圈　　（单位：mm）

标准型弹簧垫圈（摘自 GB/T 93—1987）
轻型弹簧垫圈（摘自 GB/T 859—1987）



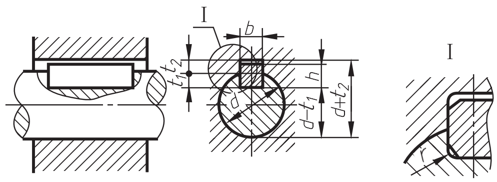
标记示例

规格 16mm、材料为 65Mn、表面氧化处理的标准型弹簧垫圈：
垫圈 GB/T 93　16

规格（螺纹大径）		3	4	5	6	8	10	12	(14)	16	(18)	20	(22)	24	(27)	30
d(min)		3.1	4.1	5.1	6.1	8.1	10.2	12.2	14.2	16.2	18.2	20.2	22.5	24.5	27.5	30.5
H (min)	GB/T 93	1.6	2.2	2.6	3.2	4.2	5.2	6.2	7.2	8.2	9	10	11	12	13.6	15
	GB/T 859	1.2	1.6	2.2	2.6	3.2	4	5	6	6.4	7.2	8	9	10	11	12
$S(b)$ (公称)	GB/T 93	0.8	1.1	1.3	1.6	2.1	2.6	3.1	3.6	4.1	4.5	5	5.5	6	6.8	7.5
S (公称)	GB/T 859	0.6	0.8	1.1	1.3	1.6	2	2.5	3	3.2	3.6	4	4.5	5	5.5	6
$m \leqslant$	GB/T 93	0.4	0.55	0.65	0.8	1.05	1.3	1.55	1.8	2.05	2.25	2.5	2.75	3	3.4	3.75
	GB/T 859	0.3	0.4	0.55	0.65	0.8	1	1.25	1.5	1.6	1.8	2	2.25	2.5	2.75	3
b (公称)	GB/T 859	1	1.2	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	7	8	9

注：1. 括号内的规格尽可能不采用。
　　2. m 应大于零。

附表 B-10　平键和键槽的剖面尺寸（摘自 GB/T 1095—2003）　　（单位：mm）

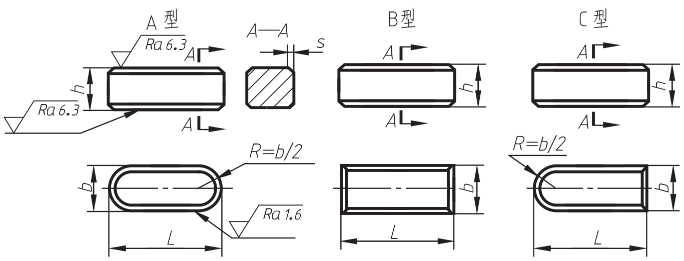


（续）

轴径 d	键尺寸 $b\times h$	键槽 宽度 b 基本尺寸 b	宽度 b 极限偏差 松连接 轴 H9	松连接 毂 D10	正常连接 轴 N9	正常连接 毂 JS9	紧密连接 轴和毂 P9	深度 轴 t_1 公称尺寸	轴 t_1 偏差	毂 t_2 公称尺寸	毂 t_2 偏差	半径 r min	半径 r max
6～8	2×2	2	+0.025 0	+0.060 +0.020	−0.004 −0.029	±0.0125	−0.006 −0.031	1.2	+0.1 0	1	+0.1 0	0.08	0.16
>8～10	3×3	3						1.8		1.4			
>10～12	4×4	4	+0.030 0	+0.078 +0.030	0 −0.030	±0.015	−0.012 −0.042	2.5		1.8			
>12～17	5×5	5						3.0		2.3		0.16	0.25
>17～22	6×6	6						3.5		2.8			
>22～30	8×7	8	+0.036 0	+0.098 +0.040	0 −0.036	±0.018	−0.015 −0.051	4.0	+0.2 0	3.3	+0.2 0		
>30～38	10×8	10						5.0		3.3		0.25	0.40
>38～44	12×8	12	+0.043 0	+0.120 +0.050	0 −0.043	±0.0215	−0.018 −0.061	5.0		3.3			
>44～50	14×9	14						5.5		3.8			
>50～58	16×10	16						6.0		4.3			
>58～65	18×11	18						7.0		4.4			
>65～75	20×12	20	+0.052 0	+0.149 +0.065	0 −0.052	±0.026	−0.022 −0.074	7.5		4.9		0.40	0.60
>75～85	22×14	22						9.0		5.4			
>85～95	25×14	25						9.0		5.5			
>95～110	28×16	28						10.0		6.4			

注：在工作图中，轴槽深用（$d-t_1$）标注，轮毂槽深用（$d+t_2$）标注；平键轴槽的长度公差带用 H14。

附表 B-11　普通型平键（摘自 GB/T 1096—2003）　（单位：mm）



标记示例

宽度 b=16mm、高度 h=10mm，长度 L=100mm 普通 A 型平键：

GB/T 1096　键　16×10×100

宽度 b=16mm、高度 h=10mm，长度 L=100mm 普通 B 型平键：

GB/T 1096　键　B16×10×100

宽度 b=16mm、高度 h=10mm，长度 L=100mm 普通 C 型平键：

GB/T 1096　键　C16×10×100

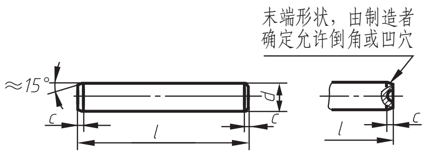
宽度 b	基本尺寸		2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22
	极限偏差（h8）		0 −0. 014		0 −0. 018			0 −0. 022		0 −0. 027				0 −0. 033	
高度 h	基本尺寸		2	3	4	5	6	7	8	8	9	10	11	12	14
	极限偏差	矩形（h11）	—		—			0 −0. 090					0 −0. 110		
		方形（h8）	0 −0. 014		0 −0. 018			—					—		

（续）

倒角或倒圆 s		0.16~0.25			0.25~0.40			0.40~0.60					0.60~0.80	
长度 L														
基本尺寸	极限偏差(h14)													
6	0 -0.036			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8					—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10						—	—	—	—	—	—	—	—	—
12	0 -0.43					—	—	—	—	—	—	—	—	—
14							—	—	—	—	—	—	—	—
16							—	—	—	—	—	—	—	—
18				标				—	—	—	—	—	—	—
20	0 -0.52							—	—	—	—	—	—	—
22		—			准				—	—	—	—	—	—
25		—							—	—	—	—	—	—
28		—				长				—	—	—	—	—
32	0 -0.62	—								—	—	—	—	—
36		—					度				—	—	—	—
40		—	—								—	—	—	—
45		—	—					范				—	—	—
50		—	—	—									—	—
56	0 -0.74	—	—	—					围					—
63		—	—	—	—									
70		—	—	—	—									
80		—	—	—	—	—								

附表 B-12　圆柱销　不淬硬钢和奥氏体不锈钢（摘自 GB/T 119.1—2000）

（单位：mm）



标记示例

公称直径 d=6mm、公差为 m6、公称长度 l=30mm、材料为钢、不经淬火、不经表面处理的圆柱销：

销　GB/T 119.1 6m6×30

公称直径 d (m6/h8)	0.6	0.8	1	1.2	1.5	2	2.5	3	4	5
c≈	0.12	0.16	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.50	0.63	0.80
l(商品规格范围公称长度)	2~6	2~8	4~10	4~12	4~16	6~20	6~24	8~30	8~40	10~50
公称直径 d (m6/h8)	6	8	10	12	16	20	25	30	40	50
c≈	1.2	1.6	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	6.3	8.0
l(商品规格范围公称长度)	12~60	14~80	18~95	22~140	26~180	35~200	50~200	60~200	80~200	95~200
l 系列	2,3,4,5,6,8,10,12,14,16,18,20,22,24,26,28,30,32,35,40,45,50,55,60,65,70,75,80,85,90,95,100,120,140,160,180,200									

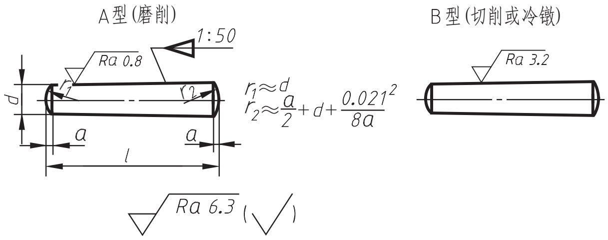
注：1. 材料用钢时硬度要求为 125~245 HV30，用奥氏体不锈钢 A1（GB/T 3098.6—2014）时硬度要求 210~280 HV30。

2. 公差 m6：Ra≤0.8μm；

公差 h8：Ra≤1.6μm。

附表 B-13　圆锥销（摘自 GB/T 117—2000）

（单位：mm）



标记示例

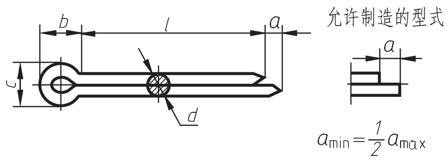
公称直径 d=10mm、长度 l=60mm、材料为 35 钢、热处理硬度 28～38HRC、表面氧化处理的 A 型圆锥销：

销　GB/T 117　10×60

d(公称)	0.6	0.8	1	1.2	1.5	2	2.5	3	4	5
$a\approx$	0.08	0.1	0.12	0.16	0.2	0.25	0.3	0.4	0.5	0.63
l(商品规格范围公称长度)	4～8	5～12	6～16	6～20	8～24	10～35	10～35	12～45	14～55	18～60
d(公称)	6	8	10	12	16	20	25	30	40	50
$a\approx$	0.8	1	1.2	1.6	2	2.5	3	4	5	6.3
l(商品规格范围公称长度)	22～90	22～120	26～160	32～180	40～200	45～200	50～200	55～200	60～200	65～200
l 系列	2,3,4,5,6,8,10,12,14,16,18,20,22,24,26,28,30,32,35,40,45,50,55,60,65,70,75,80,85,90,95,100,120,140,160,180,200									

附表 B-14　开口销（摘自 GB/T 91—2000）

（单位：mm）



标记示例

公称直径　d=5mm、长度 l=50mm、材料为低碳钢、不经表面处理的开口销：

销　GB/T 91　5×50

公称规格		0.6	0.8	1	1.2	1.6	2	2.5	3.2	4	5	6.3	8	10	13
d	max	0.5	0.7	0.9	1.0	1.4	1.8	2.3	2.9	3.7	4.6	5.9	7.5	9.5	12.4
	min	0.4	0.6	0.8	0.9	1.3	1.7	2.1	2.7	3.5	4.4	5.7	7.3	9.3	12.1
c	max	1	1.4	1.8	2	2.8	3.6	4.6	5.8	7.4	9.2	11.8	15	19	24.8
	min	0.9	1.2	1.6	1.7	2.4	3.2	4	5.1	6.5	8	10.3	13.1	16.6	21.7
$b\approx$		2	2.4	3	3	3.2	4	5	6.4	8	10	12.6	16	20	26
a(max)		1.6	1.6	1.6	2.5	2.5	2.5	2.5	3.2	4	4	4	4	6.3	6.3
l(商品规格范围公称长度)		4～12	5～16	6～20	8～25	8～32	10～40	12～50	14～63	18～80	22～100	32～125	40～160	45～200	70～200
l 系列		4,5,6,8,10,12,14,16,18,20,22,25,28,32,36,40,45,50,56,63,71,80,90,100,112,125,140,160,180,200													

注：公称规格等于开口销孔的直径。对销孔直径推荐的公差为：

公称规格≤1.2：H13；

公称规格>1.2：H14。

附录 C　极限与配合

附表 C-1　常用及优先配合中轴的公差带、极限偏差（摘自 GB/T 1800.2—2009）　（单位：μm）

公称尺寸/mm		a	b		c			d				e		
大于	至	11	11	12	9	10	(11)	8	(9)	10	11	7	8	9
—	3	-270 -330	-140 -200	-140 -240	-60 -85	-60 -100	-60 -120	-20 -34	-20 -45	-20 -60	-20 -80	-14 -24	-14 -28	-14 -39
3	6	-270 -345	-140 -215	-140 -260	-70 -100	-70 -118	-70 -145	-30 -48	-30 -60	-30 -78	-30 -105	-20 -32	-20 -38	-20 -50
6	10	-280 -370	-150 -240	-150 -300	-80 -116	-80 -138	-80 -170	-40 -62	-40 -76	-40 -98	-40 -130	-25 -40	-25 -47	-25 -61
10 14	14 18	-290 -400	-150 -260	-150 -330	-95 -138	-95 -165	-95 -205	-50 -77	-50 -93	-50 -120	-50 -160	-32 -50	-32 -59	-32 -75
18 24	24 30	-300 -430	-160 -290	-160 -370	-110 -162	-110 -194	-110 -240	-65 -98	-65 -117	-65 -149	-65 -195	-40 -61	-40 -73	-40 -92
30	40	-310 -470	-170 -330	-170 -420	-120 -182	-120 -220	-120 -280	-80 -119	-80 -142	-80 -180	-80 -240	-50 -75	-50 -89	-50 -112
40	50	-320 -480	-180 -340	-180 -430	-130 -192	-130 -230	-130 -290							
50	65	-340 -530	-190 -380	-190 -490	-140 -214	-140 -260	-140 -330	-100 -146	-100 -174	-100 -220	-100 -290	-60 -90	-60 -106	-60 -134
65	80	-360 -550	-200 -390	-200 -500	-150 -224	-150 -270	-150 -340							
80	100	-380 -600	-200 -440	-220 -570	-170 -257	-170 -310	-170 -390	-120 -174	-120 -207	-120 -260	-120 -340	-72 -107	-72 -126	-72 -159
100	120	-410 -630	-240 -460	-240 -590	-180 -267	-180 -320	-180 -400							
120	140	-460 -710	-260 -510	-260 -660	-200 -300	-200 -360	-200 -450							
140	160	-520 -770	-280 -530	-280 -680	-210 -310	-210 -370	-210 -460	-145 -208	-145 -245	-145 -305	-145 -395	-85 -125	-85 -148	-85 -185
160	180	-580 -830	-310 -560	-310 -710	-230 -330	-230 -390	-230 -480							
180	200	-660 -950	-340 -630	-340 -800	-240 -355	-240 -425	-240 -530							
200	225	-740 -1030	-380 -670	-380 -840	-260 -375	-260 -445	-260 -550	-170 -242	-170 -285	-170 -355	-170 -460	-100 -146	-100 -172	-100 -215
225	250	-820 -1110	-420 -710	-420 -880	-280 -395	-280 -465	-280 -570							
250	280	-920 -1240	-480 -800	-480 -1000	-300 -430	-300 -510	-300 -620	-190 -271	-190 -320	-190 -400	-190 -510	-110 -162	-110 -191	-110 -240
280	315	-1050 -1370	-540 -860	-540 -1060	-330 -460	-330 -540	-330 -650							
315	355	-1200 -1560	-600 -960	-600 -1170	-360 -500	-360 -590	-360 -720	210 299	-210 -350	-210 -440	-182 -570	-125 -182	-125 -214	-125 -265
355	400	-1350 -1710	-680 -1040	-680 -1250	-400 -540	-400 -630	-400 -760							
400	450	-1500 -1900	-760 -1160	-760 -1390	-440 -595	-440 -690	-440 -840	-230 -327	-230 -385	-230 -480	-230 -630	-135 -198	-135 -232	-135 -290
450	500	-1650 -2050	-840 -1240	-840 -1470	-480 -635	-480 -730	-480 -880							

（续）

公称尺寸/mm		f					g			h							
大于	至	5	6	(7)	8	9	5	(6)	7	5	(6)	(7)	8	(9)	10	(11)	12
—	3	-6 -10	-6 -12	-6 -16	-6 -20	-6 -31	-2 -6	-2 -8	-2 -12	0 -4	0 -6	0 -10	0 -14	0 -25	0 -40	0 -60	0 -100
3	6	-10 -15	-10 -18	-10 -22	-10 -28	-10 -40	-4 -9	-4 -12	-4 -16	0 -5	0 -8	0 -12	0 -18	0 -30	0 -48	0 -75	0 -120
6	10	-13 -19	-13 -22	-13 -28	-13 -35	-13 -49	-5 -11	-5 -14	-5 -20	0 -6	0 -9	0 -15	0 -22	0 -36	0 -58	0 -90	0 -150
10 14	14 18	-16 -24	-16 -27	-16 -34	-16 -43	-16 -59	-6 -14	-6 -17	-6 -24	0 -8	0 -11	0 -18	0 -27	0 -43	0 -70	0 -110	0 -180
18 24	24 30	-20 -29	-20 -33	-20 -41	-20 -53	-20 -72	-7 -16	-7 -20	-7 -28	0 -9	0 -13	0 -21	0 -33	0 -52	0 -84	0 -130	0 -210
30 40	40 50	-25 -36	-25 -41	-25 -50	-25 -64	-25 -87	-9 -20	-9 -25	-9 -34	0 -11	0 -16	0 -25	0 -39	0 -62	0 -100	0 -160	0 -250
50 65	65 80	-30 -43	-30 -49	-30 -60	-30 -76	-30 -104	-10 -23	-10 -29	-10 -40	0 -13	0 -19	0 -30	0 -46	0 -74	0 -120	0 -190	0 -300
80 100	100 120	-36 -51	-36 -58	-36 -71	-36 -90	-36 -123	-12 -27	-12 -34	-12 -47	0 -15	0 -22	0 -35	0 -54	0 -87	0 -140	0 -220	0 -350
120 140 160	140 160 180	-43 -61	-43 -68	-43 -83	-43 -106	-43 -143	-14 -32	-14 -39	-14 -54	0 -18	0 -25	0 -40	0 -63	0 -100	0 -160	0 -250	0 -400
180 200 225	200 225 250	-50 -70	-50 -79	-50 -96	-50 -122	-50 -165	-15 -35	-15 -44	-15 -61	0 -20	0 -29	0 -46	0 -72	0 -115	0 -185	0 -290	0 -460
250 280	280 315	-56 -79	-56 -88	-56 -108	-56 -137	-56 -186	-17 -40	-17 -49	-17 -69	0 -23	0 -32	0 -52	0 -81	0 -130	0 -210	0 -320	0 -520
315 355	355 400	-62 -87	-62 -98	-62 -119	-62 -151	-62 -202	-18 -43	-18 -54	-18 -75	0 -25	0 -36	0 -57	0 -89	0 -140	0 -230	0 -360	0 -570
400 450	450 500	-68 -95	-68 -108	-68 -131	-68 -165	-68 -223	-20 -47	-20 -60	-20 -83	0 -27	0 -40	0 -63	0 -97	0 -155	0 -250	0 -400	0 -630

（续）

公称尺寸/mm		js			k			m			n			p		
大于	至	5	6	7	5	(6)	7	5	6	7	5	(6)	7	5	(6)	7
—	3	±2	±3	±5	+4 0	+6 0	+10 0	+6 +2	+8 +2	+12 +2	+8 +4	+10 +4	+14 +4	+10 +6	+12 +6	+16 +6
3	6	±2.5	±4	±6	+6 +1	+9 +1	+13 +1	+9 +4	+12 +4	+16 +4	+13 +8	+16 +8	+20 +8	+17 +12	+20 +12	+24 +12
6	10	±3	±4.5	±7	+7 +1	+10 +1	+16 +1	+12 +6	+15 +6	+21 +6	+16 +10	+19 +10	+25 +10	+21 +15	+24 +15	+30 +15
10	14	±4	±5.5	±9	+9 +1	+12 +1	+19 +1	+15 +7	+18 +7	+25 +7	+20 +12	+23 +12	+30 +12	+26 +18	+29 +18	+36 +18
14	18															
18	24	±4.5	±6.5	±10	+11 +2	+15 +2	+23 +2	+17 +8	+21 +8	+29 +8	+24 +15	+28 +15	+36 +15	+31 +22	+35 +22	+43 +22
24	30															
30	40	±5.5	±8	±12	+13 +2	+18 +2	+27 +2	+20 +9	+25 +9	+34 +9	+28 +17	+33 +17	+42 +17	+37 +26	+42 +26	+51 +26
40	50															
50	65	±6.5	±9.5	±15	+15 +2	+21 +2	+32 +2	+24 +11	+30 +11	+41 +11	+33 +20	+39 +20	+50 +20	+45 +32	+51 +32	+62 +32
65	80															
80	100	±7.5	±11	±17	+18 +3	+25 +3	+38 +3	+28 +13	+35 +13	+48 +13	+38 +23	+45 +23	+58 +23	+52 +37	+59 +37	+72 +37
100	120															
120	140	±9	±12.5	±20	+21 +3	+28 +3	+43 +3	+33 +15	+40 +15	+55 +15	+45 +27	+52 +27	+67 +27	+61 +43	+68 +43	+83 +43
140	160															
160	180															
180	200	±10	±14.5	±23	+24 +4	+33 +4	+50 +4	+37 +17	+46 +17	+63 +17	+54 +31	+60 +31	+77 +31	+70 +50	+79 +50	+96 +50
200	225															
225	250															
250	280	±11.5	±16	±26	+27 +4	+36 +4	+56 +4	+43 +20	+52 +20	+72 +20	+57 +34	+66 +34	+86 +34	+79 +56	+88 +56	+108 +56
280	315															
315	355	±12.5	±18	±28	+29 +4	+40 +4	+61 +4	+46 +21	+57 +21	+78 +21	+62 +37	+73 +37	+94 +37	+87 +62	+98 +62	+119 +62
355	400															
400	450	±13.5	±20	±31	+32 +5	+45 +5	+68 +5	+50 +23	+63 +23	+86 +23	+67 +40	+80 +40	+103 +40	+95 +68	+108 +68	+131 +68
450	500															

（续）

公称尺寸/mm		r			s			t			u		v	x	y	z
大于	至	5	6	7	5	(6)	7	5	6	7	(6)	7	6	6	6	6
—	3	+14 +10	+16 +10	+20 +10	+18 +14	+20 +14	+24 +14	—	—	—	+24 +18	+28 +18	—	+26 +20	—	+32 +26
3	6	+20 +15	+23 +15	+27 +15	+24 +19	+27 +19	+31 +19	—	—	—	+31 +23	+35 +23	—	+36 +28	—	+43 +35
6	10	+25 +19	+28 +19	+34 +19	+29 +23	+32 +23	+38 +23	—	—	—	+37 +28	+43 +28	—	+43 +34	—	+51 +42
10	14	+31 +23	+34 +23	+41 +23	+36 +28	+39 +28	+46 +28	—	—	—	+44 +33	+51 +33	—	+51 +40	—	+61 +50
14	18							—	—	—			+50 +39	+56 +45	—	+71 +60
18	24	+37 +28	+41 +28	+49 +28	+44 +35	+48 +35	+56 +35	—	—	—	+54 +41	+62 +41	+60 +47	+67 +54	+76 +63	+86 +73
24	30							+50 +41	+54 +41	+62 +41	+61 +43	+69 +48	+68 +55	+77 +64	+88 +75	+101 +88
30	40	+45 +34	+50 +34	+59 +34	+54 +43	+59 +43	+68 +43	+59 +48	+64 +48	+73 +48	+76 +60	+85 +60	+84 +68	+96 +80	+110 +94	+128 +112
40	50							+65 +54	+70 +54	+79 +54	+86 +70	+95 +70	+97 +81	+113 +97	+130 +114	+152 +136
50	65	+54 +41	+60 +41	+71 +41	+66 +53	+72 +53	+83 +53	+79 +66	+85 +66	+96 +66	+106 +87	+117 +87	+121 +102	+141 +122	+163 +144	+191 +172
65	80	+56 +43	+62 +43	+73 +43	+72 +59	+78 +59	+89 +59	+88 +75	+94 +75	+105 +75	+121 +102	+132 +102	+139 +120	+165 +146	+193 +174	+229 +210
80	100	+66 +51	+73 +51	+86 +51	+86 +71	+93 +71	+106 +71	+106 +91	+113 +91	+126 +91	+146 +124	+159 +124	+168 +146	+200 +178	+236 +214	+280 +258
100	120	+69 +54	+76 +54	+89 +54	+94 +79	+101 +79	+114 +79	+110 +104	+126 +104	+136 +104	+166 +144	+179 +144	+194 +172	+232 +210	+276 +254	+332 +310
120	140	+81 +63	+88 +63	+103 +63	+110 +92	+117 +92	+132 +92	+140 +122	+147 +122	+162 +122	+195 +170	+210 +170	+227 +202	+273 +248	+325 +300	+390 +365
140	160	+83 +65	+90 +65	+105 +65	+118 +100	+125 +100	+140 +100	+152 +134	+159 +134	+174 +134	+215 +190	+230 +190	+253 +228	+305 +280	+365 +340	+440 +415
160	180	+86 +68	+93 +68	+108 +68	+126 +108	+133 +108	+148 +108	+164 +146	+171 +146	+186 +146	+235 +210	+250 +210	+277 +252	+335 +310	+405 +380	+490 +465
180	200	+97 +77	+106 +77	+123 +77	+142 +122	+151 +122	+168 +122	+186 +166	+195 +166	+212 +166	+265 +236	+282 +236	+313 +284	+379 +350	+454 +425	+549 +520
200	225	+100 +80	+109 +80	+126 +80	+150 +130	+159 +130	+176 +130	+200 +180	+209 +180	+226 +180	+287 +258	+304 +258	+339 +310	+414 +385	+499 +470	+604 +575
225	250	+104 +84	+113 +84	+130 +84	+160 +140	+169 +140	+186 +140	+216 +196	+225 +196	+242 +196	+313 +284	+330 +284	+369 +340	+454 +425	+549 +520	+669 +640
250	280	+117 +94	+126 +94	+146 +94	+181 +158	+190 +158	+210 +158	+241 +218	+250 +218	+270 +218	+347 +315	+367 +315	+417 +385	+507 +475	+612 +580	+742 +710
280	315	+121 +98	+130 +98	+150 +98	+193 +170	+202 +170	+222 +170	+263 +240	+272 +240	+292 +240	+382 +350	+402 +350	+457 +425	+557 +525	+682 +650	+822 +790
315	355	+133 +108	+144 +108	+165 +108	+215 +190	+226 +190	+247 +190	+293 +268	+304 +268	+325 +268	+426 +390	+447 +390	+511 +475	+626 +590	+766 +730	+936 +900
355	400	+139 +114	+150 +114	+171 +114	+233 +208	+244 +208	+265 +208	+319 +294	+330 +294	+351 +294	+471 +435	+492 +435	+566 +530	+696 +660	+856 +820	+1036 +1000
400	450	+153 +126	+166 +126	+189 +126	+259 +232	+272 +232	+295 +232	+357 +330	+370 +330	+393 +330	+530 +490	+553 +490	+635 +595	+780 +740	+960 +920	+1140 +1100
450	500	+159 +132	+172 +132	+195 +132	+279 +252	+292 +252	+315 +252	+387 +360	+400 +360	+423 +360	+580 +540	+603 +540	+700 +660	+860 +820	+1040 +1000	+1290 +1250

注：1. 公称尺寸小于 1mm 时，各级的 a 和 b 均不采用。
2. 带括号者为优先公差带。

附表 C-2　常用及优先配合中孔的公差带、极限偏差（摘自 GB/T 1800. 2—2009）

（单位：μm）

公称尺寸/mm		A	B		C	D				E		F			
大于	至	11	11	12	(11)	8	(9)	10	11	8	9	6	7	(8)	9
—	3	+330 +270	+200 +140	+240 +140	+120 +60	+34 +20	+45 +20	+60 +20	+80 +20	+28 +14	+39 +14	+12 +6	+16 +6	+20 +6	+31 +6
3	6	+345 +270	+215 +140	+260 +140	+145 +70	+48 +30	+60 +30	+78 +30	+105 +30	+38 +20	+50 +20	+18 +10	+22 +10	+28 +10	+40 +10
6	10	+370 +280	+240 +150	+300 +150	+170 +80	+62 +40	+76 +40	+98 +40	+130 +40	+47 +25	+61 +25	+22 +13	+28 +13	+35 +13	+49 +13
10	14	+400 +290	+260 +150	+330 +150	+205 +95	+77 +50	+93 +50	+120 +50	+160 +50	+59 +32	+75 +32	+27 +16	+34 +16	+43 +16	+59 +16
14	18														
18	24	+430 +300	+290 +160	+370 +160	+240 +110	+98 +65	+117 +65	+149 +65	+195 +65	+73 +40	+92 +40	+33 +20	+41 +20	+53 +20	+72 +20
24	30														
30	40	+470 +310	+330 +170	+420 +170	+280 +120	+119 +80	+142 +80	+180 +80	+240 +80	+89 +50	+112 +50	+41 +25	+50 +25	+64 +25	+87 +25
40	50	+480 +320	+340 +180	+430 +180	+290 +130										
50	65	+530 +340	+380 +190	+490 +190	+330 +140	+146 +100	+170 +100	+220 +100	+290 +100	+106 +60	+134 +60	+49 +30	+60 +30	+76 +30	+104 +30
65	80	+550 +360	+390 +200	+500 +200	+340 +150										
80	100	+600 +380	+440 +220	+570 +220	+390 +170	+174 +120	+207 +120	+260 +120	+340 +120	+126 +72	+159 +72	+58 +36	+71 +36	+90 +36	+123 +36
100	120	+630 +410	+460 +240	+590 +240	+400 +180										
120	140	+710 +460	+510 +260	+660 +260	+450 +200	+208 +145	+245 +145	+305 +145	+395 +145	+148 +85	+185 +85	+68 +43	+83 +43	+106 +43	+143 +43
140	160	+770 +520	+530 +280	+680 +280	+460 +210										
160	180	+830 +580	+560 +310	+710 +310	+480 +230										
180	200	+950 +660	+630 +340	+800 +340	+530 +240	+242 +170	+285 +170	+355 +170	+460 +170	+172 +100	+215 +100	+79 +50	+96 +50	+122 +50	+165 +50
200	225	+1030 +740	+670 +380	+840 +380	+550 +260										
225	250	+1110 +820	+710 +420	+880 +420	+570 +280										
250	280	+1240 +920	+800 +480	+1000 +480	+620 +300	+271 +190	+320 +190	+400 +190	+510 +190	+191 +110	+240 +110	+88 +56	+108 +56	+137 +56	+186 +56
280	315	+1370 +1050	+860 +540	+1060 +540	+650 +330										
315	355	+1560 +1200	+960 +600	+1170 +600	+720 +360	+299 +210	+350 +210	+440 +210	+570 +210	+214 +125	+265 +125	+98 +62	+119 +62	+151 +62	+202 +62
355	400	+1710 +1350	+1040 +680	+1250 +680	+760 +400										
400	450	+1900 +1500	+1160 +760	+1390 +760	+840 +440	+327 +230	+385 +230	+480 +230	+630 +230	+232 +135	+290 +135	+108 +68	+131 +68	+165 +68	+223 +68
450	500	+2050 +1650	+1240 +840	+1470 +840	+880 +480										

（续）

公称尺寸/mm		G		H							JS			K			M		
大于	至	6	(7)	6	(7)	(8)	(9)	10	(11)	12	6	7	8	6	(7)	8	6	7	8
—	3	+8 +2	+12 +2	+6 0	+10 0	+14 0	+25 0	+40 0	+60 0	+100 0	±3	±5	±7	0 −6	0 −10	0 −14	−2 −8	−2 −12	−2 −16
3	6	+12 +4	+16 +4	+8 0	+12 0	+18 0	+30 0	+48 0	+75 0	+120 0	±4	±6	±9	+2 −6	+3 −9	+5 −13	−1 −9	0 −12	+2 −16
6	10	+14 +5	+20 +5	+9 0	+15 0	+22 0	+36 0	+58 0	+90 0	+150 0	±4.5	±7	±11	+2 −7	+5 −10	+6 −16	−3 −12	0 −15	+1 −21
10 14	14 18	+17 +6	+24 +6	+11 0	+18 0	+27 0	+43 0	+70 0	+110 0	+180 0	±5.5	±9	±13	+2 −9	+6 −12	+8 −19	−4 −15	0 −18	+2 −25
18 24	24 30	+20 +7	+28 +7	+13 0	+21 0	+33 0	+52 0	+84 0	+130 0	+210 0	±6.5	±10	±16	+2 −11	+6 −15	+10 −23	−4 −17	0 −21	+4 −29
30 40	40 50	+25 +9	+34 +9	+16 0	+25 0	+39 0	+62 0	+100 0	+160 0	+250 0	±8	±12	±19	+3 −13	+7 −18	+12 −27	−4 −20	0 −25	+5 −34
50 65	65 80	+29 +10	+40 +10	+19 0	+30 0	+46 0	+74 0	+120 0	+190 0	+300 0	±9.5	±15	±23	+4 −15	+9 −21	+14 −32	−5 −24	0 −30	+5 −41
80 100	100 120	+34 +12	+47 +12	+22 0	+35 0	+54 0	+87 0	+140 0	+220 0	+350 0	±11	±17	±27	+4 −18	+10 −25	+16 −38	−6 −28	0 −35	+6 −48
120 140 160	140 160 180	+39 +14	+54 +14	+25 0	+40 0	+63 0	+100 0	+160 0	+250 0	+400 0	±12.5	±20	±31	+4 −21	+12 −28	+20 −43	−8 −33	0 −40	+8 −55
180 200 225	200 225 250	+44 +15	+61 +15	+29 0	+46 0	+72 0	+115 0	+185 0	+290 0	+460 0	±14.5	±23	±36	+5 −24	+13 −33	+22 −50	−8 −37	0 −46	+9 −63
250 280	280 315	+49 +17	+69 +17	+32 0	+52 0	+81 0	+130 0	+210 0	+320 0	+520 0	±16	±26	±40	+5 −27	+16 −36	+25 −56	−9 −41	0 −52	+9 −72
315 355	355 400	+54 +18	+75 +18	+36 0	+57 0	+89 0	+140 0	+230 0	+360 0	+570 0	±18	±28	±44	+7 −29	+17 −40	+28 −61	−10 −46	0 −57	+11 −78
400 450	450 500	+60 +20	+83 +20	+40 0	+63 0	+97 0	+155 0	+250 0	+400 0	+630 0	±20	±31	±48	+8 −32	+18 −45	+29 −68	−10 −50	0 −63	+11 −86

（续）

公称尺寸/mm		N			P		R		S		T		U
大于	至	6	(7)	8	6	(7)	6	7	6	(7)	6	7	(7)
—	3	−4 −10	−4 −14	−4 −18	−6 −12	−6 −16	−10 −16	−10 −20	−14 −20	−14 −24	—	—	−18 −28
3	6	−5 −13	−4 −16	−2 −20	−9 −17	−8 −20	−12 −20	−11 −23	−16 −24	−15 −27	—	—	−19 −31
6	10	−7 −16	−4 −19	−3 −25	−12 −21	−9 −24	−16 −25	−13 −28	−20 −29	−17 −32	—	—	−22 −37
10	14	−9 −20	−5 −23	−3 −30	−15 −26	−11 −29	−20 −31	−16 −34	−25 −36	−21 −39	—	—	−26 −44
14	18												
18	24	−11 −24	−7 −28	−3 −36	−18 −31	−14 −35	−24 −37	−20 −41	−31 −44	−27 −48	—	—	−33 −54
24	30										−37 −50	−33 −54	−40 −61
30	40	−12 −28	−8 −33	−3 −42	−21 −37	−17 −42	−29 −45	−25 −50	−38 −54	−34 −59	−43 −59	−39 −64	−51 −76
40	50										−49 −65	−45 −70	−61 −86
50	65	−14 −33	−9 −39	−4 −50	−26 −45	−21 −51	−35 −54	−30 −60	−47 −66	−42 −72	−60 −79	−55 −85	−76 −106
65	80						−37 −56	−32 −62	−53 −72	−48 −78	−69 −88	−64 −94	−91 −121
80	100	−16 −38	−10 −45	−4 −58	−30 −52	−24 −59	−44 −66	−38 −73	−64 −86	−58 −93	−84 −106	−78 −113	−111 −146
100	120						−47 −69	−41 −76	−72 −94	−66 −101	−97 −119	−91 −126	−131 −166
120	140	−20 −45	−12 −52	−4 −67	−36 −61	−28 −68	−56 −81	−48 −88	−85 −110	−77 −117	−115 −140	−107 −147	−155 −195
140	160						−58 −83	−50 −90	−93 −118	−85 −125	−127 −152	−119 −159	−175 −215
160	180						−61 −86	−53 −93	−101 −126	−93 −133	−139 −164	−131 −171	−195 −235
180	200	−22 −51	−14 −60	−5 −77	−41 −70	−33 −79	−68 −97	−60 −106	−113 −142	−105 −151	−157 −186	−149 −195	−219 −265
200	225						−71 −100	−63 −109	−121 −150	−113 −159	−171 −200	−163 −209	−241 −287
225	250						−75 −104	−67 −113	−131 −160	−123 −169	−187 −216	−179 −225	−267 −313
250	280	−25 −57	−14 −66	−5 −86	−47 −79	−36 −88	−85 −117	−74 −126	−149 −181	−138 −190	−209 −241	−198 −250	−295 −347
280	315						−89 −121	−78 −130	−161 −193	−150 −202	−231 −263	−220 −272	−330 −382
315	355	−26 −62	−16 −73	−5 −94	−51 −87	−41 −98	−97 −133	−87 −144	−179 −215	−169 −226	−257 −293	−247 −304	−369 −426
355	400						−103 −139	−93 −150	−197 −233	−187 −244	−283 −319	−273 −330	−414 −471
400	450	−27 −67	−17 −80	−6 −103	−55 −95	−45 −108	−113 −153	−103 −166	−219 −259	−209 −272	−317 −357	−307 −370	−467 −530
450	500						−119 −159	−109 −172	−239 −279	−229 −292	−347 −387	−337 −400	−517 −580

注：1. 公称尺寸小于 1mm 时，各级的 A 和 B 均不采用。
2. 带括号者为优先公差带。

参 考 文 献

[1] 全国技术产品文件标准化技术委员会. 技术产品文件标准汇编　机械制图卷 [M]. 2 版. 北京：中国标准出版社，2009.

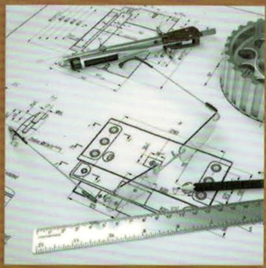
[2] 全国技术产品文件标准化技术委员会. 技术产品文件标准汇编　技术制图卷 [M]. 2 版. 北京：中国标准出版社，2009.

[3] 王熙宁，袭建军. 画法几何及机械制图 [M]. 北京：高等教育出版社，2015.

[4] 李利群. 工程制图基础 [M]. 哈尔滨：黑龙江教育出版社，2009.



Fundamental of
Engineering Drawing



Fundamental of Engineering Drawing

◎ 本书采用全新国家标准，并将贯彻国家标准的知识放在本书第1章中介绍，让学生从学习开始就了解国家标准的相关规定，认识到国家标准的重要性，养成遵循国家标准的意识。

◎ 教材按照点、线、面、体的投影的顺序依次编写，结构紧凑、层次分明、由浅入深、详略得当，有利于帮助学生了解课程的内容体系和总体框架。

◎ 教材例题难易适中，代表性强，例题讲解思路清晰，是教师课堂教学和学生课后学习的有效工具。

◎ 体现时代特点，加入了现代化信息元素。学生可通过扫描二维码观看部分立体和装配体的组合、剖分、装配等过程，使内容更加鲜活、清楚，帮助学生理解和加深所学内容，有较强的实用性。

欢迎登录机械工业出版社教育服务网
www.cmpedu.com

地址：北京市百万庄大街22号
邮政编码：100037
电话服务
服务咨询热线：010-88379833
读者购书热线：010-88379649
网络服务
机工官网：www.cmpbook.com
机工官博：weibo.com/cmp1952
教育服务网：www.cmpedu.com
金书网：www.golden-book.com
封面无防伪标均为盗版

机工教育微信服务号

ISBN 978-7-111-56978-7
策划编辑◎舒恬 / 封面设计◎张静

ISBN 978-7-111-56978-7
9 787111 569787
定价：34.50元